

ESEIAAT

Grau en Tecnologies Industrials

Estudi del sistema de suspensions en els vehicles lleugers (turismes)

MEMÒRIA

Autor: Pol Hernández Mañas
Director: José Antonio Ortiz Marzo
Convocatòria: Juny 2018



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

RESUM

Aquest treball es basa en la recerca d'informació referent a l'evolució històrica de les suspensions als turismes, centrant-se en els diferents tipus de suspensions dels darrers anys per poder comparar-les entre elles i veure quines virtuts i defectes té cada tipus. Així com fer un recull d'informació de les últimes tendències, invencions i innovacions per poder determinar en un futur a curt termini quins seran els nous avenços en matèria de suspensions per als vehicles. També es busca comparar tota la informació cercada a nivell teòric en contrast amb les experiències professionals i personals de les persones enquestades amb el treball de camp per comprovar que no té per què ser equivalent el que la indústria demanda amb el que els usuaris finals i els treballadors del sector necessiten.

En aquest treball també es pot trobar un recull dels principals fabricants de suspensions així com els seus components i comprovar com es distribueixen el mercat de les suspensions en els automòbils. I posteriorment poder comprovar quines proves de qualitat i manteniment es fan a les suspensions abans i durant el seu ús i repassar la normativa que regeix les suspensions a nivell estatal.

També es fa un breu resum dels components que defineixen les suspensions i comprovar que els resultats obtinguts amb les enquestes, la normativa de manteniment i ús per a les suspensions i l'evolució històrica amb les característiques de les últimes suspensions està tot relacionat. I tot es basa en 3 factors principals que influeixen en el tipus d'ús que se li fan, en quins aspectes s'han de millorar i quin és el manteniment més adequat en funció d'aquests 3 factors.

Estudi del sistema de suspensions en els vehicles lleugers (turismes)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

SUMARI

RESUM	1
SUMARI	3
ÍNDIX DE FIGURES	7
ÍNDIX DE TAULES	13
1. GLOSSARI	15
2. PREFACI	17
2.1. Origen del treball	17
2.2. Motivació	17
2.3. Requeriments previs	18
3. INTRODUCCIÓ	19
3.1. Objectius del treball	19
3.2. Abast del treball	20
4. ESTAT DE L'ART DE LES SUSPENSIONS	21
4.1. Introducció al concepte	21
4.2. Definició i funció	21
4.3. Evolució històrica	23
4.3.1. Necessitat d'existir	23
4.3.2. Primeres dècades	25
4.3.3. Època moderna	39
4.4. Les suspensions en l'actualitat i el seu futur	54
4.4.1. EDFC (controladors de força per a suspensions)	55
4.4.2. Suspensió BOSE L.E.M.	57
4.4.3. Suspensió intel·ligent Tenneco	59
4.4.4. Suspensió Tenneco CVSA 2	60
4.4.5. Suspensió ACOCAR de Tenneco	61
4.4.6. Sistema contra-bolcament de BMW	62
4.4.7. Suspensió Magic Body Control de Mercedes-Benz	62
4.4.8. Suspensió AIRmatic de Mercedes-Benz	64
4.4.9. Suspensió d'aire CDC de Volkswagen	66
4.4.10. Suspensió modular del VW Passat	68
4.4.11. Suspensió Four-C de Volvo	69
4.4.12. Suspensions Öhlins CESi de Volvo	70

4.4.13. Suspensions d'aire del Tesla Model S	71
4.4.14. Suspensions intel·ligents d'aire del Tesla Model 3	73
4.4.15. Suspensions per a la plataforma CD de Ford	74
4.4.16. Suspensions duals per al Ford Focus RS	76
4.4.17. Suspensió magnetorrògica MagneRide	76
4.4.18. Amortidor semi-actiu de nova generació	79
4.4.19. Suspensions actives controlades remotament.....	80
4.4.20. Amortidors passius més competitius.....	82
4.4.21. Amortidors Bilstein de nous materials	83
4.4.22. Suspensió activa de 48V de Audi	84
4.4.23. Suspensió multi-braç de Land Rover.....	85
4.4.24. Nous materials per als components de la suspensió	86
4.5. Components de la suspensió.....	87
4.5.1. Ballestes	87
4.5.2. Molles helicoïdals	88
4.5.3. Barres de torsió.....	89
4.5.4. Barres estabilitzadores	90
4.5.5. <i>Silentblocks</i> i coixinets elàstics.....	91
4.5.6. Ròtules.....	92
4.5.7. Manegueta i dolla.....	92
4.5.8. Trapezis o braços de suspensió	93
4.5.9. Topalls de suspensió	94
4.5.10. Amortidors	94
5. COMPARATIVA DE TIPUS DE SUSPENSIONS	97
5.1. Comparativa segons la geometria	97
5.1.1. Suspensions rígides	98
5.1.2. Suspensions semi-rígides.....	100
5.1.3. Suspensions independents	101
5.1.4. Taula comparativa suspensions segons geometria	105
5.2. Comparativa segons la tecnologia.....	106
5.2.1. Suspensions passives	107
5.2.2. Suspensions semi-actives	108
5.2.3. Suspensions actives o adaptatives	109
5.2.4. Suspensions hidropneumàtiques	111
5.2.5. Taula comparativa suspensions segons tecnologia.....	113
6. MANTENIMENT I ÚS DE LES SUSPENSIONS	115
6.1. Treball de camp	115

6.1.1. Anàlisi pregunta 4.....	116
6.1.2. Anàlisi pregunta 7.....	117
6.1.3. Anàlisi pregunta 8.....	119
6.1.4. Anàlisi pregunta 9.....	121
6.1.5. Anàlisi pregunta 10.....	122
6.1.6. Comentaris opcionals de l'enquesta	124
6.2. Factors d'ús i manteniment en les suspensions	125
6.2.1. L'usuari.....	125
6.2.2. L'entorn.....	126
6.2.3. Vehicle	130
7. FABRICANTS I NORMATIVES	133
7.1. Fabricants	133
7.1.1. Bilstein.....	134
7.1.2. Eibach.....	135
7.1.3. Gabriel	135
7.1.4. H&R.....	136
7.1.5. KW.....	138
7.1.6. Monroe.....	139
7.1.7. Öhlins	140
7.1.8. SACHS	141
7.2. Bancs d'assaig	141
7.2.1. Bancs d'assaig electromecànics.....	142
7.2.2. Bancs d'assaig servo hidràulics.....	143
7.2.3. Bancs d'assaig sobre el terreny	147
7.2.4. Bancs d'assaig matemàtics i simulats	150
7.3. Normativa ITV	151
7.3.1. Introducció, funcionament estatal i europeu.....	151
7.3.2. Normativa suspensions.....	153
8. CONCLUSIONS	157
9. IMPACTE AMBIENTAL	161
BIBLIOGRAFIA	163



ÍNDEX DE FIGURES

Figura 4.1: Mitjà de transport època pre-automòbil [4]	23
Figura 4.2: Primers automòbils [5]	24
Figura 4.3: Diferents tipus de molles de ballesta [7]	26
Figura 4.4: Suspensió frontal del Ford Model T [8]	26
Figura 4.5: Vehicle amb suspensió de ballesta transversal [9]	27
Figura 4.6: Model d'automòbil Runabout [10]	28
Figura 4.7: Sistema combinat de molla d'espiral i de ballesta [6]	28
Figura 4.8: Sistema combinat de molla i amortidor de era post WWII [11]	29
Figura 4.9: Esquema de la suspensió de pilar desplaçant [12]	29
Figura 4.10: Suspensió d'eix de corredissa invertit en un Morgan [12]	30
Figura 4.11: Hispano-Suiza Especial de Dubonnet [13]	31
Figura 4.12: Suspensió Dubonnet [13]	32
Figura 4.13: Cotxe mula Stout-Scarab [8]	32
Figura 4.14: Esquema del funcionament de la suspensió de barra de torsió [14]	33
Figura 4.15: Estructura de la suspensió De Dion [15]	34
Figura 4.16: Suspensió Gabriel muntada en un cotxe dels anys 20 [16]	34
Figura 4.17: Vista d'un sistema de doble acció [8]	35
Figura 4.18: Primers automòbils Tatra amb suspensió d'eixos oscil·lants [17]	36
Figura 4.19: Comportament de la suspensió d'eixos oscil·lants [18]	37
Figura 4.20: Suspensió d'eixos oscil·lants en un VW Beetle [18]	37
Figura 4.21: Suspensió d'eixos oscil·lants Low-pivot Swing-Axle del Mercedes-Benz de 1954 [18]	38

Figura 4.22: Esquema de suspensió MacPherson [22]	41
Figura 4.23: Ballesta transversal del Corvette actual [23]	42
Figura 4.24: Packard One-Twenty de 1935 [25]	43
Figura 4.25: Vista dels elements de la suspensió de doble trapezi [26]	43
Figura 4.26: Morris Minor del 1950 [27]	44
Figura 4.27: Sistema en "H" del Golf Mk1 [29]	45
Figura 4.28: Disseny de la suspensió del Mercedes C111 [20]	46
Figura 4.29: Citroën Traction Avant 15H de 1954 en posició elevada [31]	47
Figura 4.30: Vista en esquema de la suspensió del Citroën DS de 1955 [11]	48
Figura 4.31: Suspensió hidropneumàtica Hidractiva d'un Xantia al 1990 [32]	49
Figura 4.32: Austin Allegro 1500 de 1973 [34]	51
Figura 4.33: Citroën 2CV [36]	52
Figura 4.34: Suspensió de braços semi tirats oblics del Lancia Aurelia [37]	53
Figura 4.35: Suspensió de braços semi tirats en l'eix motriu amb ancoratge oblic [18]	53
Figura 4.36: Esquema de una suspensió adaptativa [33]	55
Figura 4.37: Components del sistema EDFC de la marca TEIN [39]	56
Figura 4.38: Sistema de suspensió BOSE a l'eix davanter [40]	57
Figura 4.39: Comparativa del comportament dinàmic de la suspensió BOSE [40]	58
Figura 4.40: Suspensió "intel·ligent" de Tenneco [41]	59
Figura 4.41: Amortidor ACOCAR de Tenneco [44]	61
Figura 4.42: Perfil del sistema BMW-ARC instal·lat en un BMW 545 [45]	62
Figura 4.43: Suspensió activa hidràulica per al sistema ABC [45]	63

Figura 4.44: Conjunt de suspensió AIRmatic [48]	65
Figura 4.45: Control de la suspensió des de la consola central [48]	66
Figura 4.46: Distància a controlar per les suspensions [49]	67
Figura 4.47: Esquema dels elements del sistema de suspensió del VW Phaeton [49]	68
Figura 4.48: Ambdós eixos de la nova suspensió del VW Passat [50]	69
Figura 4.49: Esquema del sistema Four-C del Volvo S60 R [33]	70
Figura 4.50: Amortidor de la suspensió CESi [51]	71
Figura 4.51: Model 3D de la suspensió i fre del Tesla Model S [52]	72
Figura 4.52: Sub-xassís del Model S amb les suspensions intel·ligents [52]	73
Figura 4.53: Sub-xassís del Model 3 amb les suspensions intel·ligents [53]	73
Figura 4.54: Components de la suspensió Integral Link de Ford [54]	74
Figura 4.55: Suspensió amb disseny d'angle variable [54]	75
Figura 4.56: Esquema dels elements de la suspensió MagneRide [56]	77
Figura 4.57: Amortidor MagneRide d'última generació [58]	78
Figura 4.58: Amortidor semi-actiu dual del fabricant Bilstein [60]	80
Figura 4.59: Suspensió Bilstein iRC amb la aplicació pel mòbil [61]	81
Figura 4.60: Pantalla del mode predictiu de circuit del Koenigsegg One:1 [61]	82
Figura 4.61: Amortidor de CFRP de Bilstein [63]	83
Figura 4.62: Gràfic amb el pes de cada tipus de amortidor [63]	84
Figura 4.63: Eix posterior de la suspensió activa del A8 [64]	85
Figura 4.64: Suspensió posterior multi-braç del nou Discovery Sport [65]	86
Figura 4.65: Braç de suspensió de Magneti Marelli de composite [66]	86

Figura 4.66: Molla helicoïdal de polímers de composite de Sogefi [67]	87
Figura 4.67: Components de la ballesta [68]	88
Figura 4.68: Tipus de molles helicoïdals [68]	88
Figura 4.69: Corba característica de compressió [68]	89
Figura 4.70: Muntatge mixt de barres de torsió [68]	90
Figura 4.71: Conjunt MacPherson amb barra estabilitzadora [68]	90
Figura 4.72: Coixinets de les suspensions [69]	91
Figura 4.73: Ròtula d'una suspensió [68]	92
Figura 4.74: Conjunt molla-amortidor [68]	93
Figura 4.75: Suspensió de doble trapezi [68]	93
Figura 4.76: Topall de suspensió posterior d'un Chevrolet Pick Up [70]	94
Figura 4.77: Amortidor estàndard [68]	95
Figura 5.1: Suspensió rígida [39]	98
Figura 5.2: Suspensió semi-rígida [72]	100
Figura 5.3: Suspensió independent [20]	102
Figura 5.4: Model de suspensió passiva [45]	107
Figura 5.5: Suspensió semi-activa magnetorrològica [45]	109
Figura 5.6: Suspensió activa electromagnètica [45]	110
Figura 5.7: Esquema d'un quart del sistema de suspensió hidropneumàtic [32]	112
Figura 6.1: Resultats percentuals de la pregunta 4	116
Figura 6.2: Resultats percentuals de la pregunta 7	118
Figura 6.3: Resultats percentuals de la pregunta 8	119

Figura 6.4: Resultats percentuals de la pregunta 10	123
Figura 6.5: Asfalt enfonsat i amb reparació pitjor posterior [74]	126
Figura 6.6: Tros d'asfalt arrancat i aixafat al voltant [74]	127
Figura 6.7: Tapa de clavegueram mal instal·lada amb el paviment [74]	127
Figura 6.8: Desperfecte agressiu després d'una obra sense arreglar [74]	128
Figura 6.9: Exemple d'una reparació prèvia que empitjora l'estat inicial [74]	128
Figura 6.10: Mesures reglamentàries dels ressals [75]	129
Figura 6.11: Ressalts seguits sense ser reglamentaris [74]	129
Figura 6.12: Ressalt no simètric a la calçada i no reglamentari [74]	130
Figura 6.13: Comparativa de l'estat de conservació d'un amortidor [77]	131
Figura 7.1: Mercedes Benz 300 SL Gullwing [83]	138
Figura 7.2: Banc d'assaig MecaDyn [88]	143
Figura 7.3: Microtest sèrie EFH [88]	144
Figura 7.4: Banc d'assaig BSU NET [89]	145
Figura 7.5: Topall de suspensió fabricat per NTN [90]	146
Figura 7.6: Test de durabilitat [90]	146
Figura 7.7: Test de fatiga [90]	147
Figura 7.8: Característiques tècniques de la pista de fatiga [91]	148
Figura 7.9: Exemples de seccions de la pista de fatiga [91]	148
Figura 7.10: Característiques tècniques de la pista de confort A [91]	149
Figura 7.11: Exemples d'elements de la pista de confort A [91]	149
Figura 7.12: Característiques tècniques de la pista de confort B [91]	150
Figura 7.13: Reclam publicitari i exemple del simulador ADAM [92]	151

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Comparativa suspensions segons geometria [45]	106
Taula 2: Comparativa suspensions segons tecnologia [45]	114
Taula 3: Resultats pregunta 4 de l'enquesta	116
Taula 4: Resultats pregunta 7 de l'enquesta	117
Taula 5: Resultats pregunta 8 de l'enquesta	119
Taula 6: Resultats pregunta 9 de l'enquesta	121
Taula 7: Resultats pregunta 10 de l'enquesta	122
Taula 8: Interpretació dels defectes [96]	155

1. GLOSSARI

- **TFG:** Treball Final de Grau.
- **ESEIAAT:** Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa.
- **ITV:** Inspecció Tècnica de Vehicles.
- **VW:** *Volkswagen*.
- **FRP/CFRP:** *(Carbon) Fiber Reinforced Plastic* (plàstic reforçat amb fibra o de carboni).
- **WWII:** Segona Guerra Mundial.
- **BHI:** Bloc Hidro-elèctric Integrat.
- **BL:** *British Leyland*.
- **VAG:** *Volkswagen Aktiengesellschaft* (Grup empresarial Volkswagen).
- **EDFC:** *Electronic Damping Force Controllers*.
- **BOSE L.E.M.:** *BOSE Linear Electromagnetic Motor* (motor electromagnètic lineal).
- **ABS:** *Antiblockiersystem* (sistema antibloqueig de rodes).
- **ECU:** *Electronic Controler Unit* (unitat de control electrònic).
- **ARB:** *anti-roll bar* (barra anti-bolcada)
- **Dolla:** del castellà “buje”.
- **OEM:** *Original Equipment Manufacturer* (equipament oficial del fabricant)
- **TÜV:** *Technischer Überwachungs Verein* (agència governamental que regula els productes per als automòbils d'Alemanya) o també anomenat més comunament TUV.
- **Plançó:** del castellà “vástago”.



2. PREFACI

2.1. Origen del treball

L'origen d'aquest estudi ve donat per l'interès en la mecànica dels automòbils i del funcionament dels seus components. Durant els últims anys, el meu interès ha anat augmentant i cada cop m'ha interessat més com funcionen els components dels cotxes. He tingut sort de tenir contacte directe amb molts dels elements de la mecànica i funcionament de l'automòbil utilitzant el meu propi vehicle com a model de millores i proves. Per la qual cosa, he pogut experimentar en com afecta el comportament de diferents tipus de suspensions en el mateix vehicle. Gràcies a la bona entesa amb el professor Ortiz, vam poder posar en comú les meves experiències personals i coneixements previs en el tema i el seu gran coneixement del tema, i vam fer la reflexió de voler plasmar aquest interès en aquest treball, sota el seu tutoratge.

2.2. Motivació

La motivació del projecte ve a raó d'una experiència personal que vaig tenir el mes de juliol del 2017, que es va trencar l'amortidor davanter dret del cotxe fent una corba cap a l'esquerra a 45km/h. De tal manera que, després d'investigar i parlar amb el meu mecànic de confiança, vam descobrir que s'havia dessoldat el tub del amortidor, fent que quedés partit en dos parts. Seguidament, amb l'assessorament del distribuïdor vam descobrir que el fabricant tenia constància d'aquest defecte i va proposar canviar la peça per una de més reforçada. Ja que no es va poder demostrar que havia estat un trencament per fatiga sinó que es tractava d'un defecte de fabricació. Amb aquest incident em vaig començar a interessar amb més profunditat en saber com funcionen els diferents tipus de suspensions i quines avantatges i inconvenients tenen per poder veure els seus punts febles i forts. Ja que si m'arriba a passar a més velocitat o per ciutat, l'accident hagués estat molt greu o inclús mortal, degut a que el cotxe va anar en línia recta sense girar al quedar la roda sense subjecció amb el xassís.

2.3. Requeriments previs

Un dels requeriments previs per la realització d'aquest treball és l'habilitat de síntesis i de comprensió lectora prou avançada per poder donar un to informatiu i tècnic adequat al nivell d'exigència de l'assignatura de TFG.

També és un requeriment, un coneixement mitjà o equivalent a B2 d'Anglès, suficient per poder entendre i comprendre la documentació cercada en aquest idioma.

És important per poder realitzar el treball tenir un coneixement prou avançat d'ofimàtica com per fer un bon ús de les eines del programari Microsoft Office.

Caldria remarcar que una bona predisposició i interès sobre el tema és un element primordial per elaborar i aprofundir en el treball.

Finalment, com a requeriment previ per a la realització d'aquest treball és important haver aprofundit i estar cursant les assignatures de la menció en automoció que s'imparteix en l'ESEIAAT.

3. INTRODUCCIÓ

3.1. Objectius del treball

En aquest treball s'estableixen diferents objectius, entre els quals està el de realitzar un estudi de l'estat de l'art dels diferents tipus de suspensions al llarg dels anys d'existència d'aquest element en els vehicles lleugers (turismes). Així com veure la seva evolució històrica fins l'actualitat i poder establir una línia de futur als propers anys, quin serà el seu futur a curt termini.

El treball busca posar en context els punts forts i febles de cada tipus de suspensió que hi ha a l'actualitat i poder comparar-los entre ells per poder entendre de manera més àmplia quin sentit té cada suspensió i quin lloc ocupa en el moment actual i en el tipus de mercat actual. I així veure quina fiabilitat té cada tipus de suspensió, en comparació amb el cost i les prestacions que ofereix.

A més a més, en aquest treball es busca relacionar amb el treball de camp (enquestes) quina es la percepció que tenen els experts del sector sobre l'evolució de les suspensions al llarg dels anys i quin manteniment i ús li fan els usuaris als vehicles, i amb això veure quines repercussions té a nivell econòmic o al vehicle. Per això, el treball busca mirar quins són els factors que fan determinar aquests resultats i per què estan influenciats.

Finalment, en un últim punt del projecte, és interessant saber quins són els principals fabricants de suspensions del món i quines són les característiques que els han portat a això, així com descobrir quins són els procediments que utilitzen per comprovar la qualitat abans de llençar al mercat un nou producte.

També quines són les normatives que han de seguir les suspensions per garantir un bon funcionament i un bon manteniment al llarg de la seva vida útil. Així com els controls d'inspecció que puguin tenir.

3.2. Abast del treball

S'inclourà:

- Estudi de l'estat de l'art dels diferents sistemes de suspensions al llarg de la història de l'automòbil aplicada als vehicles de categoria M1¹ homologats per circular per la via pública i matriculables.
- Estudi del funcionament dels diferents sistemes de suspensió al període comprés anteriorment, així com les seves avantatges i els seus inconvenients.
- Treball de camp de cerca d'informació sobre defectes i falles principals de les suspensions, per a la realització d'un breu estudi comparatiu de fiabilitat.
- Cerca d'informació de la normativa de suspensions per a la seguretat vial a l'àmbit estatal i també l'equivalència a nivell europeu.
- Innovacions, tipus de suspensions i les seves principals característiques a un futur proper.
- Principals fabricants, estudi de mercat i bancs de proves que s'utilitzen.
- Accions, escenaris i elements que influencien en l'ús i vida útil de les suspensions.
- Impacte mediambiental en la realització del treball.

No s'inclourà:

- Estudi a nivell d'enginyeria del detall dels components de les suspensions, així com les seves característiques tècniques detallades.
- Precedents històrics més enllà dels definits a l'abast.
- Normativa e impacte ambiental de la construcció i de la fabricació de les suspensions i de les seves parts.
- Normativa ambiental sobre la gestió dels seus residus un cop finalitzada la seva vida útil, així com de les seves parts.
- Proposta de millores de fiabilitat a partir de les dades del treball de camp.

¹ S'entén com a categoria M1 per als vehicles aquells vehicles a motor destinats al transport de persones i que tinguin com a mínim quatre rodes i a més a més siguin vehicles que com a màxim tinguin vuit places assegudes apart del conductor.

4. ESTAT DE L'ART DE LES SUSPENSIONS

4.1. Introducció al concepte

Inicialment es farà un enfocament de l'estat de l'art de les suspensions en els vehicles lleugers (turismes), començant per la seva definició i concepte i, posteriorment, en un recull històric per oferir una visió de l'evolució històrica dels sistemes de suspensions i veure els diferents tipus, així com els que han evolucionat fins l'actualitat i els que no; sense entrar en detalls tècnics del funcionament de cada component.

Al llarg dels anys, les suspensions² als vehicles han evolucionant de manera substancial per anar adaptant-se a les noves necessitats socials, tecnològiques i de seguretat. De manera que es pot presentar una sèrie de moments històrics en els quals es pot trobar una gran varietat de sistemes de suspensió i en d'altres que no. Això fa que varis sistemes de suspensió anul·lin i eliminin altres de més eficients de tal manera que continuament hi hagi una evolució i progressió al llarg dels anys.

4.2. Definició i funció

Es pot començar definint l'acció de suspendre en un turisme, com la capacitat de sostenir el xassís del vehicle, el tren motriu i les rodes fermes al sol.

Per tant, les suspensions del cotxe neixen de la necessitat de suspendre el cotxe al sol correctament. Però, què és una suspensió i per a què serveix? A continuació es poden trobar diverses interpretacions equivalents per a definir-ho, segons cada autor:

- La suspensió va néixer per fer més còmodes els viatges amb carruatges que posteriorment es van convertir en carruatges motoritzats i van derivar als actuals

² D'ara en endavant en aquest document quan es faci referència a suspensions, es donarà per suposat que es referirà única i exclusivament a suspensions per a vehicles lleugers, és a dir, turismes de categoria M1. De no ser així, quedarà indicat al context de manera explícita.

automòbils. Antigament els camins no tenien la qualitat dels actuals i el continu rebot contra les pedres i els sots feien molt incòmode els trajectes [1].

- La suspensió sol ser valorada com un element de confort, però la seva funció va molt més enllà, ja que és l'encarregada d'aconseguir que els pneumàtics del vehicle treballin en les millors condicions possibles d'adherència; així com corregir i mitigar les possibles transferències de masses quan accelera, frena i gira el vehicle, i per descomptat evitar els rebots i oscil·lacions de la carrosseria fent que el vehicle no perdi contacte amb el ferm [2].
- La suspensió és el sistema de pneumàtics, molles, amortidors i enllaços que uneixen un vehicle a les seves rodes. Els sistemes de suspensió han de suportar tant l'estat de les carreteres amb les seves conseqüents irregularitats com la qualitat de muntatge d'aquestes al fer-ne ús i la fatiga dels seus components. L'ajustament a unes suspensions adequades al tipus de vehicle i a les seves prestacions implica trobar el compromís adequat. És important que la suspensió mantingui la superfície de la roda amb la superfície del sol tant com sigui possible. La suspensió també protegeix el propi vehicle i qualsevol càrrega o equipatge de danys i desgast [3].
- El propòsit de la suspensió és aïllar el contingut del vehicle dels efectes no desitjats de la superfície a què es dirigeix, però sense perdre control d'ell. Es necessita estar desconnectat en prou mesura de la superfície de la carretera per evitar ser sacsejat cada cop que es passi per una irregularitat del ferm, però no tan desconnectat com per no tenir un tacte i una sensació de control sobre el comportament del vehicle [4].

Tal i com es pot veure en les definicions anteriors, les suspensions tenen una doble vessant; la part de seguretat que implica protegir l'estructura e integritat del vehicle, inclosos els passatgers i el seu contingut (per la qual cosa es pot considerar com a element de seguretat vial del vehicle), però també té una vessant molt important a nivell de prestacions del vehicle.

4.3. Evolució històrica

A continuació, es farà un resum de les suspensions més rellevants que han existit al llarg de la història, passant per models, tipus i dissenys que han existit al llarg dels primers anys d'invenció de les suspensions i altres tipus i dissenys que han aparegut més tard; com també altres que han estat presents al llarg de tots els anys i han anat evolucionant fins a l'actualitat.

Aquest capítol es tractarà des d'una perspectiva cronològica sempre que sigui possible. Passant per varis tipus de suspensions que van coincidir i evolucionar en èpoques contemporànies.

4.3.1. Necessitat d'existir

Tot objecte nou, té un pas previ a la seva invenció que és la justificació per la qual hi ha la necessitat d'existir, i les suspensions no en són una excepció.

A dia d'avui, les carreteres poden semblar prou ben fetes com per desplaçar-se a qualsevol part del món, gairebé. Encara que això sembli obvi, fa 120 anys no ho era, amb les carrosses tirades per cavalls i les poques carreteres que hi havia arreu del món, com per exemple a la *Figura 4.1*.



Figura 4.1: Mitjà de transport època pre-automòbil [4]

El primer problema que es troba un vehicle (de 4 rodes), és assegurar que toquin amb la superfície de la carretera o camí per on ha de circular. Amb una sola roda tocant el ferm no concedeix un control prou segur com per dirigir el vehicle, frenar o accelerar.

Com que no es disposava de cap suspensió, les rodes s'unien al cotxe directament al xassís, i l'única forma de fer que totes les rodes estiguessin en contacte amb el terra era flexionant el propi xassís del carruatge. Fet que era perillós i pràcticament amb una eficiència nul·la. Val a dir que un vehicle amb tres o menys rodes no tenia aquest problema, o no el tenia amb tanta mesura.

Així, d'aquesta manera apareix el que possiblement fos el vehicle més senzill existent, un carro tirat per cavalls, a nivell de suspensió no consistia en gaire més que una superfície plana de fusta entre dues rodes. Aquest tipus de vehicle precari no era còmode per transportar material delicat ni tampoc ho era per als passatgers. Aquest sistema consisteix en la fabricació d'una roda de fusta massissa que queda adherida al terra pel propi pes del carruatge i que amb qualsevol tipus de cop brusc amb el terra, es pot trencar una roda i tenir un accident. Amb aquesta premissa, neix la necessitat de absorbir tant com sigui possible els impactes i vibracions amb el terra al circular.

No obstant això, no es tracta només d'absorbir els impactes, ja que una vegada es comença a viatjar a certa velocitat, no només s'ha de fer front als efectes d'aquests xocs sinó també s'ha de fer front a les vibracions causades per les imperfeccions més petites del sol; i que a velocitats menors no era perceptible. Per tant, totes aquestes irregularitats i problemes van venir donats pel recent increment en la velocitat dels primers vehicles i/o carruatges ràpids; feien els trajectes molt difícils per als passatgers i conductor. Tal i com es pot observar com a model d'exemple a la *Figura 4.2*.



Figura 4.2: Primers automòbils [5]

Tenint en compte que la càrrega dels primers vehicles de l'època eren les persones, es va intentar mitigar posant coixins suaus i tous als seients del vehicles però no va ser suficient per mitigar els impactes amb les irregularitats del terreny i que es transmetien

al xassís del cotxe i en conseqüència als ocupants del vehicle. Es va buscar la necessitat de incorporar quelcom prou rígid com per poder suportar els impactes, i també per resistir a la fatiga, més enllà d'un bon coixí per assentar-se [4].

Cal dir que a l'època ja es començaven a preocupar pel tema i va començar a ser una necessitat imperiosa al dissenys d'un automòbil millorat, entre gent important, ja se'n feien veus alguns mitjans.

Com la velocitat dels primers vehicles era limitada, ja que no eren més ràpids que els cotxes tirats per cavalls, es podien construir molles de ballestes amb les degudes proporcions, que aconseguien proporcionar als viatgers recorreguts relativament exempts de sacsejades. En millorar els camins i augmentar les velocitats que aconseguien arribar els primers vehicles, se'n va començar a fer ressò el problema i es va redactar el següent escrit a una edició de la revista *Automobile Engineering*, l'any 1909:

"Quan les molles tenen la suficient rigidesa per suportar la càrrega de manera correcta sobre les petites irregularitats dels camins comuns i corrents, resulten massa rígides per reaccionar immediatament als sots més grans. Com a resultat, es transmeten fortes sacsejades als passatgers. Quan les molles es fan d'un material més lleuger i flexible, per reduir al mínim la força d'aquestes sacsejades, les molles de grandària menor esdevenen en un efecte excessiu i provoquen un moviment constant oscil·latori a l'automòbil i als seus passatgers durant tot el trajecte. Aquestes dues condicions contradictòries han donat lloc a la creació de l'amortidor d'impactes" [6].

4.3.2. Primeres dècades

Les suspensions de ballesta, són unes de les formes més antigues de suspensió als vehicles, apareixen als carruatges a partir del 1750 a Anglaterra i des de allà emigren a França i Alemanya. Concretament, la primera molla d'aquest tipus que es podia considerar preparada per ser muntada en un carruatge de l'època, va ser inventada per Obadiah Elliot al 1804. Es tracta de varies plaques d'acer superposades una sobre l'altra, fixades i enganxades als extrems del carruatge com es pot observar a la *Figura 4.3*.



Figura 4.3: Diferents tipus de molles de ballesta [7]

Durant tot el segle XIX es va seguir utilitzant la suspensió de ballestes per als carruatges, ja que fins llavors, no existia el cotxe com a tal. El *Model T* de Henry Ford del 1908 va suposar una evolució respecte els primers sistemes de suspensions de ballesta, de tal manera que només va utilitzar una suspensió per eix en comptes de una a cada roda, i muntada transversalment en comptes de longitudinalment. Henry Ford a més a més va utilitzar acer de vanadi d'alta resistència per poder estalviar pes i cost de producció a més a més de no comprometre la durabilitat del vehicle.

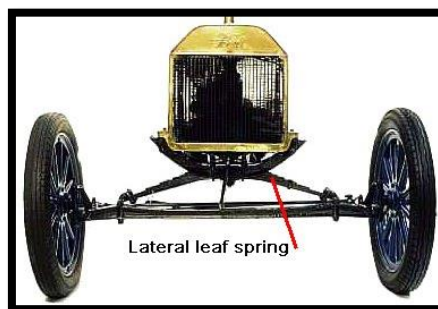


Figura 4.4: Suspensió frontal del Ford Model T [8]

Abans de l'ús de les molles com a tal en els automòbils, es va plantejar una nova via de millora i evolució creant el primer amortidor d'impactes que es coneix. S'atribueix al senyor Gimmig l'any 1897. Va consistir en fixar uns blocs de cautxú a la part superior de cada suspensió de ballestes del vehicle. De tal manera que quan la suspensió es comprimia prou, les defenses de cautxú colpejaven contra uns pernns que estaven fixos en el bastidor fent de topall i prevenint que es trenqués [6].

Amb això, el que es va buscar va ser crear una millora amb la mateixa base de les molles de ballesta. De tal manera que, sense haver de variar el sistema, i podent adaptar-ho inclús al sistema innovador de Henry Ford, es podia obtenir una millora de confort i maneig als primers vehicles que s'estaven creant.

Al mateix període que en Henry Ford feia aquest gran pas en l'evolució de les suspensions de ballesta, el món de l'automoció estava creixent molt ràpidament i s'havien de cobrir noves demandes per als nous automòbils.



Figura 4.5: Vehicle amb suspensió de ballesta transversal [9]

És important remarcar que encara que la molla helicoidal es va inventar a mitjans del segle XVIII, no va ser fins el 1904 que un jove anomenat William Brush va ajudar a aconseguir la creació de l'anomenada suspensió automobilística que avui dia, tot i formar part d'un sistema molt més complex, és com es coneix.

El principal avantatge de les molles de compressió era que no havien de separar-se i lubricar-se periòdicament com sí que s'havia de fer a les suspensions de ballesta.

Degut a una experiència personal i traumàtica conduint un dels primers automòbils amb ballestes, William Brush va pensar en la necessitat imperiosa de dissenyar un cotxe millor, i va aparèixer el *Brush two-Seat Runabout*, on es pot apreciar els primers models amb un sistema de molles millorat i en un cotxe de producció a nivell massiu, i que va aparèixer al 1906. Amb el "Runabout", Alanson Brush va incorporar l'amortidor amb la molla en forma de bobina. Mentre els motors Brush van gaudir d'un cert èxit relatiu, el suport financer d'Alanson va tenir altres interessos, i absorbida per l'empresa nord-americana Motor el 1910, el "Runabout" va desaparèixer el 1912 amb el col·lapse de la companyia [10]. Tot i això, la gran revolució va ser utilitzar una molla a cada roda muntades sobre un eix flexible.



Figura 4.6: Model d'automòbil Runabout [10]

Als borals de principi de segle XX, cada nou fabricant optava per un sistema nou, en post de millorar les ja existents suspensions de ballestes. Amb la recent utilització de les molles helicoïdals com a nou sistema de suspensió als vehicles, va haver fabricants que van optar per utilitzar els dos sistemes a la vegada per dotar als primers vehicles de les avantatges de ambdós elements.

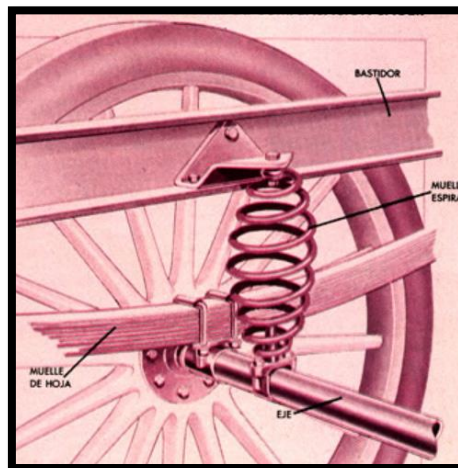


Figura 4.7: Sistema combinat de molla d'esprial i de ballesta [6]

A raó de l'aparició d'alguns models amb molles, va haver grans impulsors, com Gottlieb Daimler sent el principal exponent al país alemany. No obstant això, la majoria de fabricants es van mantenir amb les molles de ballestes. Eren menys costoses. Més fàcils de muntar i s'adaptaven més als diversos pesos de cada vehicle.

Llavors, fins al 1934, General Motors, Chrysler, Hudson i altres van tornar a introduir la suspensió davantera amb molla, aquesta vegada, amb un tractament independent per a cada roda. Aquest fet va coincidir amb el començament massiu d'utilització de pneumàtics amb càmera d'aire (globus de baixa pressió). També començaven a aparèixer sistemes més complexes que feien ús de les molles helicoidals juntament amb uns primitius amortidors d'aire. Aquest sistema conjunt, va implicar una substancial millora en el comportament del cotxe a l'hora d'absorbir les irregularitats de la carretera.

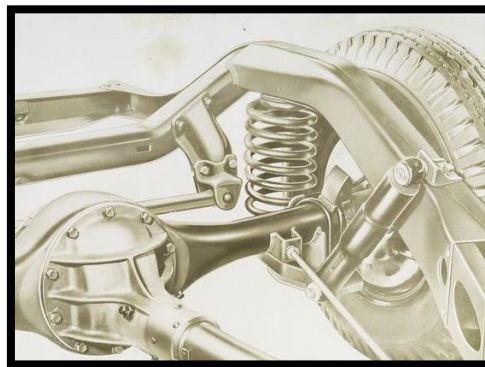


Figura 4.8: Sistema combinat de molla i amortidor de era post WWII [11]

Al llarg dels primers anys d'existència i amb la recent invenció de les molles helicoidals, va existir també un tipus de suspensió anomenada de pilar de corredissa o pilar desplaçant. Va ser una forma de suspensió per a l'eix frontal dels primers automòbils lleugers. L'asseblatge de l'eix i la roda s'adjunta a un pilar vertical que es desplaça verticalment per una estructura metàl·lica que s'adjunta al xassís del vehicle. El moviment de direcció del vehicle es proporciona permetent que aquest mateix pilar també giri.

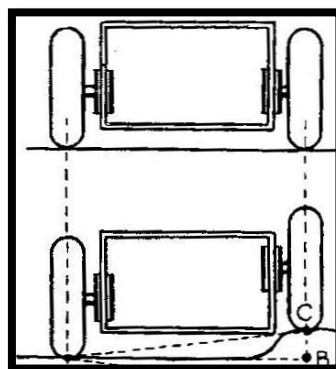


Figura 4.9: Esquema de la suspensió de pilar desplaçant [12]

Va ser utilitzada per primera vegada per Decauville el 1898, sent la primera instància registrada de suspensió frontal independent en un vehicle de motor.

Al voltant de 1904, l'inventor J. Walter Christie, va introduir un sistema de suspensió de pilars desplaçant amb ressorts verticals, que va servir per que Lancia ho comencés a utilitzar al model Lambda al 1922 i en fes ús fins a la dècada del 1950.

El 1909 H.F.S. Morgan va introduir un sistema fonamentalment similar amb un eix de creu lliscant en un pilar fix, usat en els seus cotxes fins a l'actualitat. El disseny de Morgan és un pilar de lliscament invertit; el pilar s'adjunta al xassís i l'eix de tija és transportat per la corredissa sobre aquest. Morgan va ser i és l'únic gran exponent d'aquest sistema [12].



Figura 4.10: Suspensió d'eix de corredissa invertit en un Morgan [12]

No tots els cotxes van seguir utilitzant els sistemes de ballesta o amb una molla helicoidal als primers anys. Posteriorment, amb el pas de la Segona Guerra Mundial, tots els fabricants van canviar a les molles d'espiral com a sistema de suspensió per a les rodes davanteres i van aparèixer molts altres sistemes.

Un cop assolit que a les rodes davanteres era millor utilitzar molles d'espiral, a excepció de Morgan, Buick es va convertir en el primer fabricant nord-americà en utilitzar les suspensions de molles en les rodes posteriors al 1938. Els fabricants fins llavors utilitzaven la combinació de ambdues tecnologies per als automòbils de l'època. En general, es van utilitzar suspensions de ballestes per als vehicles més pesats i suspensions de molles per als més petits o lleugers.

Durant aquets primers anys, tot el sistema de suspensió dels automòbils, començava a rebre moltes millores i també en els diversos elements del sistema de suspensió.

Tot i així, anaven apareixent tipus de suspensió diferents que buscaven innovar per un altra via, com la suspensió de Dubonnet, que va ser un tipus de suspensió que utilitzava braços guiats (substituint les ballestes per molles helicoïdals), va ser força popular a les dècades dels anys 30 i 40.

Va ser inventat pel dissenyador i enginyer francès André Dubonnet, que ho va instal·lar en un Hispano-Suiza especial al 1933. Va vendre els drets a General Motors que ho va adaptar amb la denominada *Knee-action-ride* (ròtula d'acció de guiat), tot i així, el sistema va ser usat per moltes altres marques com Fiat, Alfa Romeo i Simca.



Figura 4.11: Hispano-Suiza Especial de Dubonnet [13]

Consistia en un eix rígid sobre el qual, en els seus extrems pivotaven les articulacions de la direcció i de la suspensió. Les rodes estaven muntades sobre pivots verticals. El sistema incloïa molles helicoïdals i amortidors disposats a l'interior d'un compartiment segellat, dissenyat per permetre la lubricació i protegir el mecanisme de suspensió. Aquesta característica suposava una feblesa del disseny, ja que qualsevol fuga de lubricant tenia efectes negatius sobre la durabilitat del sistema sencer.



Figura 4.12: Suspensió Dubonnet [13]

Finalment l'aparició de maneguts de direcció amb ròtules va suposar una millora substancial en la interacció dels sistemes de direcció i suspensió, permetent la popularització d'altres sistemes i forçant a la suspensió Dubonnet a la seva extinció. La seva última aplicació en un vehicle va ser al Vauxhall Velox de 1948 [13].

Per altra banda, era important trobar altres maneres de incorporar suspensions per aire als cotxes de producció, ja que des de els seus inicis en el món del ciclisme estava tenint molt bona acceptació, amb la qual cosa, Firestone va dissenyar la primera suspensió d'aire realment utilitzable, en un vehicle de producció al 1933 i la va instal·lar en un cotxe experimental anomenat Stout-Scarab. Consistia en 4 manxes de cautxú en lloc de les convencionals on l'aire era subministrat per petits compressors units entre ells. Òbviament, a aquella època va ser una inversió desproporcionada i es va desestimar el seu ús comercial. Però tot i així va marcar un camí a seguir en el disseny i millora dels amortidors d'aire per a l'ús en els automòbils.



Figura 4.13: Cotxe mula Stout-Scarab [8]

Com a peça clau en els primers anys d'evolució dels sistemes de suspensió es van crear els primers sistemes amb barres de torsió, als vorals de 1921; el seu funcionament era tal i com es pot observar de manera esquemàtica a la *Figura 4.14*. A partir d'aquests primers models va tenir una gran acceptació al llarg dels anys 30.

Finalment al 1954, ja hi havia 21 variants de la suspensió per barra de torsió a Europa. En contra d'aquesta tendència, Amèrica només va contar amb el suport de Chrysler com a únic exponent al mercat automobilístic amb aquest tipus de suspensió [8].

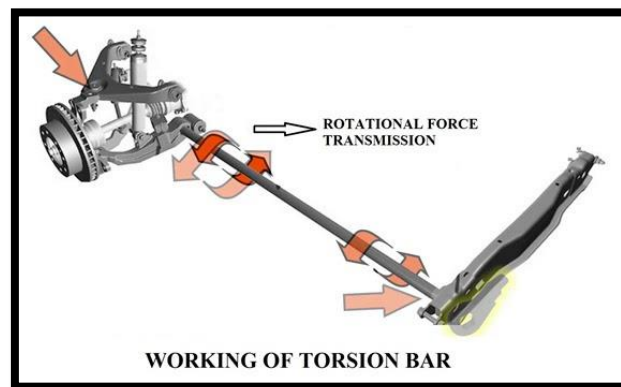


Figura 4.14: Esquema del funcionament de la suspensió de barra de torsió [14]

Paral·lelament a les suspensions per barres de torsió, es va inventar també la suspensió De Dion. Sistema inventat pel marquès Albert De Dion i que a l'actualitat encara es pot trobar algun model que encara en fa ús. Es caracteritza pel fet que les rodes estan unides entre si per una barra, principalment situada darrera del diferencial que les obliga a pertànyer paral·leles, els òrgans de transmissió estan collats al cos del cotxe. De tal manera que els elements de suspensió poden ser: barres de torsió, molles espirals o ballestes. Aquest sistema va presentar el gran avantatge de que va permetre adaptar-ho als diferents tipus de suspensions que havien aparegut feia pocs anys i que permetia una gran rigidesa de les rodes i l'estructura del cotxe amb la carretera. També va ser important destacar que el sistema va ser adoptat per primera vegada en gran mesura al De Dion de 3,5 CV de l'any 1899. Posteriorment va tenir un èxit rellevant fins als anys 50, inclús en competició [15].

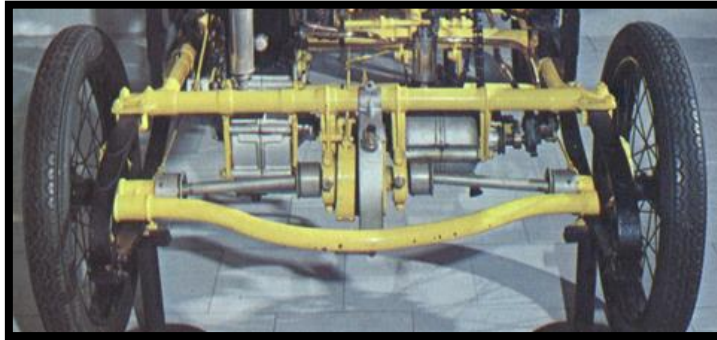


Figura 4.15: Estructura de la suspensió De Dion [15]

Com a alternativa a aquests sistemes de suspensió, i allunyant-se d'aquest estil, es va inventar la suspensió Gabriel *Snubbers*. Es tractava d'un compartiment que contenia una corretja enrotllada i que aquesta corretja es trobava sota tensió. El sistema es fixava al bastidor i a l'extrem de la corretja per l'eix, de tal manera que limitava l'angle de rebot amb les sacsejades. El sistema tal i com es pot apreciar a la *Figura 4.16*, es tractava d'un model ja definitiu de producció. Es va fer patent al 1914.

Degut a l'evolució d'altres sistemes que van tenir més èxit, per raons pràctiques i de manteniment, finalment no va acabar sent gaire acceptat.



Figura 4.16: Suspensió Gabriel muntada en un cotxe dels anys 20 [16]

A diferència del sistema de suspensió Gabriel, les molles d'aire sí que van tenir molt més èxit i va ser un sistema que té continuïtat al llarg dels anys posteriors fins l'actualitat.

Les molles d'aire pneumàtiques combinen l'acció absorbent en un únic element i sense molles d'espiral metàl·liques. El primer va ser desenvolupat per Cowey Motor Works al 1909. Era un cilindre que podia omplir-se d'aire a partir d'una bomba de bicicleta a través d'una vàlvula a la part superior del cos del cilindre. La meitat inferior del cilindre contenia un diafragma de cautxú i corda que, estant envoltat d'aire, actuava com un pneumàtic de cotxe. El major problema és que amb l'ús, sovint perdia aire.

La primera suspensió d'aire construïda i muntada en els automòbils de producció a un cost assumible va ser desenvolupada per Goodyear, i va ser aplicada en alguns models del Lincoln; a la dècada de 1930.

Eren inclús més costoses de fabricar que les altres suspensions de la mateixa època. Amb la qual cosa, no podien competir de manera efectiva en el mercat automobilístic d'aquella època.

Un gran avenç al llarg dels primers anys d'història de les suspensions, va ser la invenció dels amortidors hidràulics.

Houdaille al 1908, a França, va dissenyar el primer amortidor hidràulic utilitzable. La suspensió hidràulica consistia (i consisteix actualment) en limitar el pas d'un fluid per uns conductes i orificis petits dins del cos cilíndric del amortidor. El petit dipòsit de líquid hidràulic s'adjunta al costat de la suspensió o s'instal·la per la part inferior.

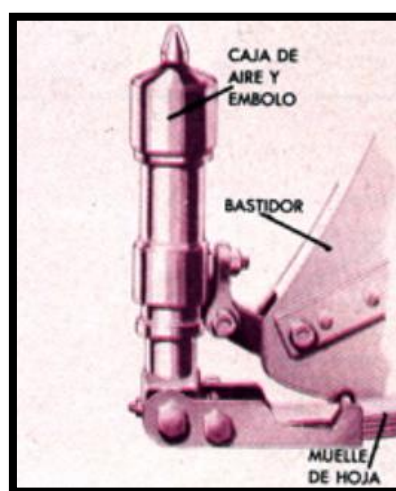


Figura 4.17: Vista d'un sistema de doble acció [8]

A la *Figura 4.17* es pot veure un exemple de suspensió de doble acció, amb una molla de ballesta i una molla hidràulica operant conjuntament i unides al xassís de l'automòbil.

Monroe va construir les primeres suspensions hidràuliques per a un Hudson al 1933; de tal manera que a la fi de la dècada dels 30, l'amortidor tubular de doble acció es va fer comú als cotxes dels Estats Units. A Europa no va ser fins als anys 60 que es va utilitzar en gran mesura als cotxes de producció [8].

Un dels primers sistemes de suspensió d'eixos independents va ser el sistema de suspensió d'eixos oscil·lants.

Va ser als anys 20, quan el fabricant d'automòbils Tatra ho va implementar als seus vehicles, i posteriorment Mercedes-Benz ho va popularitzar. Va tenir un gran èxit i difusió en l'ús del VW Beetle, i després, expandint-se a alguns vehicles esportius com el Triumph Spitfire o el Pontiac Tempest.



Figura 4.18: Primers automòbils Tatra amb suspensió d'eixos oscil·lants [17]

Consistia en un eix rígid motriu modificat mitjançant la fixació al xassís del diferencial i la introducció d'articulacions dins de la caixa del diferencial. Els semieixos actuaven de braços transversals, comprimint el ressort i l'amortidor. D'aquesta manera s'aconseguia no solament el moviment relatiu de les rodes, sinó també que el pesat diferencial passés a formar part del pes suspès del vehicle. Els dos semieixos estaven units al diferencial mitjançant juntes, sobre les quals oscil·laven formant un arc que forçava a les rodes a variar la seva caiguda a mesura que seguien el recorregut de la suspensió. Aquesta característica suposava un important avantatge de cara a la geometria de la suspensió, ja que a les corbes, la inclinació del diferencial solidari amb

la carrosseria, induïa caiguda negativa en la roda exterior i positiva en la interior de la corba, de manera que tota la superfície de contacte amb les rodes i la carretera romania en contacte.

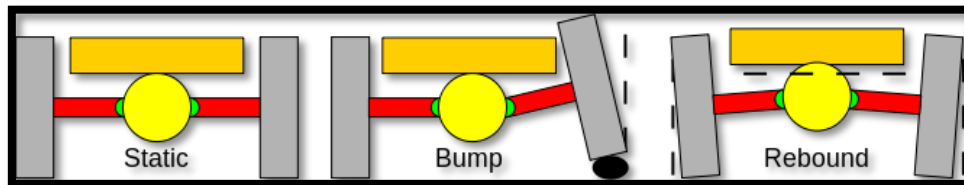


Figura 4.19: Comportament de la suspensió d'eixos oscil·lants [18]

El sistema proporcionava bons resultats en terrenys més castigats, feia possible l'ús de motors posteriors i aconseguia un angle òptim de caiguda del pneumàtic de manera natural, per la qual cosa va obtenir una gran difusió fins als anys 50. No obstant això en vehicles lleugers produïa un efecte indesitjable conegut com “acunyament”, que en casos extrems provocava que el vehicle pogués bolcar en corbes ràpides. Aquest efecte es deu al fet que l'únic element que és movable és el propi diferencial, fent que quan la força lateral superava el pes del vehicle, la roda exterior passava sobtadament a recolzar-se sobre el seu flanc, la qual cosa provocava la inclinació de la carrosseria tal i com es pot apreciar a la *Figura 4.20*.



Figura 4.20: Suspensió d'eixos oscil·lants en un VW Beetle [18]

Per evitar aquest problema van sorgir sistemes de compensació de caiguda, que s'enfrontaven per força lateral connectant la part inferior de les rodes amb el diferencial mitjançant una ballesta transversal. Per exemple el Chevrolet Corvaire de 1964.

Mercedes-Benz va començar a usar la suspensió d'eixos oscil·lants al 1931 en el Mercedes-Benz W-15 però al veure que generava aquests problemes de seguretat va

decidir evolucionar aquest sistema de suspensió de manera diferent. El nou tren denominat *Low-pivot Swing-Axle* va ser presentat en el Mercedes-Benz W-180 de 1954 i el seu ús es va estendre a tota la gamma. Estava guiat per un parell de braços tirats i utilitzava un únic punt de pivot comú per als dos semieixos, per la qual cosa el diferencial no anava ancorat al bastidor.

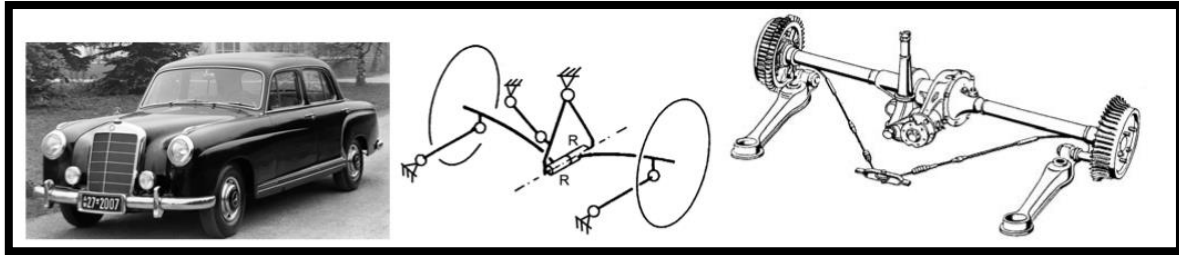


Figura 4.21: Suspensió d'eixos oscil·lants Low-pivot Swing-Axle del Mercedes-Benz de 1954 [18]

Aquest sistema va anar a evolucionant al llarg dels següents anys i es van anar desenvolupant variacions que anaven corregint els desavantatges que s'anaven trobant amb l'ús i l'experiència. No obstant això, el sofisticat sistema de suspensió de Mercedes, malgrat la favorable geometria d'oscil·lació dels seus semieixos, utilitzava juntes en tots dos extrems i era estructuralment similar a les suspensions per braços tirats de la competència. El nou sistema de suspensió, ja molt evolucionat, es va muntar en el Mercedes-Benz W123 i en dues generacions de classe S del 1979 al 1992. Per, finalment acabar desapareixent [18].

Degut a la precarietat de comunicacions entre Europa i Estats Units a les primeres dècades del segle XX va fer difícil poder treballar conjuntament en l'àmbit de les suspensions per als vehicles, a més a més, amb el desenvolupament de la Segona Guerra Mundial entremig, va fer que existissin moltes millores i sistemes nous. Tot plegat, per intentar establir les bases del que seria, en una època més recent, el futur del sistema de suspensió dels automòbils.

Cal destacar que molts dels sistemes anteriorment comentats, no van triomfar i, per tant, no van tenir una continuïtat en els següents anys de la història de l'automòbil. Amb tot, van prevaldre els sistemes de suspensions que van fer possible aplicar-ho als vehicles de producció. Principalment que fos viable econòmicament.

Una altra condició primordial per a poder tenir una continuïtat al llarg dels primers anys de creació de l'automòbil, va ser que els sistemes de suspensió nous, a més a més de ser viables econòmicament, havien de tenir la capacitat de readaptar-se a les necessitats constantment canviants del sector automobilístic, ja que en pocs anys, els vehicles canviaven a nivell de prestacions i estructuralment. Per tant, es podia quedar un sistema de suspensió obsolet en pocs anys.

4.3.3. Època moderna

En aquesta part del treball, es pot veure com a partir dels primers sistemes de suspensions, han sorgit uns nous tipus de suspensió més madurs, tècnicament parlant, que permeten adaptar-se de manera molt més eficient als requeriments dels vehicles i les seves prestacions. Aquesta classificació ha donat lloc als tipus de suspensió que existeixen actualment. I que gran part són evolucions de sistemes primigenis. Molts dels models que van existir al llarg dels primers anys, van ser modificats o desestimats en pro d'altres de millors.

Per tant, es pot dir que a partir dels anys 50 fins als anys 70 o 80, la història es va basar en l'enfocament a la construcció per a les grans sèries (menor cost econòmic, major fiabilitat i menor manteniment); amb el mateix objectiu es va innovar en buscar noves solucions per poder creant un producte més madur i readaptat.

Els elements que componen les suspensions es van classificar en tres grans grups: sistemes de suspensions rígides, sistemes de suspensions semi-rígides i sistemes de suspensions independents [19]. Que es profunditzarà més en detall al capítol 5 d'aquest mateix treball.

Sabent això, es pot dir que hi ha varis tipus de suspensions que, sense entrar en detalls tècnics, cal remarcar i que són les bases dels sistemes actuals i que es passaran a comentar en aquest mateix apartat.

Suspensió MacPherson³

Aquesta suspensió va ser desenvolupada per Earle S. MacPherson, enginyer de Ford del qual rep el seu nom. Aquest sistema és un dels més utilitzats al tren davanter, encara que es pot instal·lar igualment a l'eix posterior. Aquest sistema ha tingut molt èxit, sobretot en vehicles més modestos, per la seva senzillesa de fabricació i manteniment, el seu cost de producció i el poc espai que ocupa.

Amb aquesta suspensió és imprescindible que la carrosseria sigui més resistent en els punts on es fixen els amortidors i les molles, a fi d'absorbir els esforços transmesos per la suspensió [20].

Es pot afirmar que la suspensió de tipus MacPherson és la suspensió més utilitzada. La majoria dels vehicles de gamma mitja porten utilitzant aquest tipus de suspensió des de 1950, muntada en primer lloc en un Ford Consul. Més endavant va ser adoptada per BMW al 1962 i per Porsche al 1963. A partir de la dècada dels 70, va esdevenir la suspensió més utilitzada a l'eix davanter.

L'enginyer que la va desenvolupar, d'origen americà, va basar el seu disseny en un model Fiat dels anys 20 que utilitzava una suspensió denominada de "puntal". Amb uns petits ajustaments va esquivar la patent, a més de millorar el disseny, fent-la més confortable.

El disseny d'aquest tipus de suspensió ha variat amb els anys, guanyant estabilitat, maneig i confort; però podria dir-se que en essència segueix sent un disseny simple però molt efectiu tal i com es pot veure a la *Figura 4.22* [21].

³ També es pot trobar en moltes fonts amb el nom McPherson. Aparentment ambdós noms s'accepten com a vàlids, però degut a que el cognom del inventor s'escriu conservant la "a"; s'ha decidit utilitzar aquesta última opció per a referir-s'hi en el present treball.

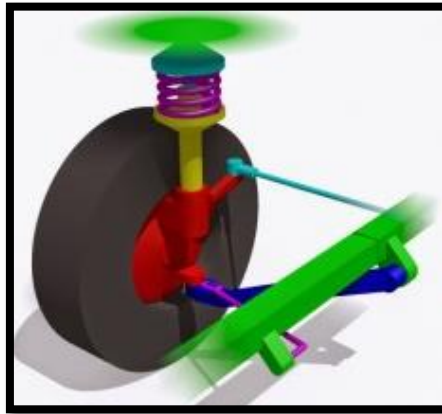


Figura 4.22: Esquema de suspensió MacPherson [22]

Suspensió de ballesta transversal

Des de la creació del Ford Model T al 1919 que va ser el primer automòbil de producció en usar aquest sistema, hi ha hagut diversos dissenys de suspensió de ballesta transversal. La majoria de les suspensions de ballesta transversal han estat fabricades en acer, encara que els dissenys més recents han utilitzat plàstic reforçat amb fibra (FRP).

Als anys 60, models com el AC Cobra van ser un exemple força destacat de suspensions de ballesta transversal d'acer a l'eix davanter. Alternativament, la suspensió posterior del Corvette de 1963 és un exemple en que la suspensió transversal de ballesta només té la funció com a eix passant, és a dir, com a reforç estructural i al mateix temps també de reforç de suspensió. En tots dos exemples, la suspensió de ballesta està centralment muntada, evitant que el desplaçament de la roda d'un costat afecti a la roda de l'altre costat.

Al 1981, General Motors va ser pioner en l'ús d'una suspensió de ballesta de plàstic transversal de FRP a la tercera generació del Corvette. Com en els exemples anteriors, la ballesta usava un muntatge únic i central que aïllava els moviments d'esquerra i dreta. La ballesta de FRP va reduir el pes i va eliminar la fricció de la fulla interna en comparació amb la ballesta de metall que era estàndard en els cotxes.



Figura 4.23: Ballesta transversal del Corvette actual [23]

En comptes de muntar centralment la molla transversal de ballesta, alguns fabricants, començant per Fiat, usaven dos muntatges de molla de ballesta àmpliament separats. Aquest va ser usat per primera vegada al capdavant del Fiat 600 de 1955 i més tard a la part posterior del Fiat 128. La molla de ballesta permetia pivotar a l'interior dels suports que permetia que el desplaçament de la molla d'un costat afectés a l'altre costat. Aquesta comunicació mecànica entre els costats esquerre i dret de la suspensió va donar lloc a un efecte similar al d'una barra estabilitzadora.

Actualment, la molla de ballesta transversal no s'utilitza amb la mateixa freqüència que abans. Es troba en alguns models concrets com el Corvette i alguns models de Volvo [24].

Suspensió de doble trapezi⁴

La suspensió de doble trapezi va ser introduïda en la dècada de 1930. El fabricant automobilístic francès Citroën va utilitzar aquest sistema des de 1934 en els seus models Citroën Rosalie i Traction Avant. La companyia Packard ho va utilitzar en el Packard One-Twenty de 1935, anunciant-ho com un element de seguretat.

⁴ La suspensió de doble trapezi també es coneguda amb el nom de suspensió de paral·lelogram deformable, ja que quan actua aquest tipus de suspensió, tant el braç superior com el braç inferior, que estan col·locats de forma paral·lela, es deformen segons la pròpia acció d'ell mateix.



Figura 4.24: Packard One-Twenty de 1935 [25]

Durant aquella època el sistema MacPherson, utilitzat als trens d'aterratge, va saltar de la tecnologia aeronàutica a la indústria de l'automòbil. Però el sistema de doble trapezi va ser aplicat amb anterioritat. Tot i ser dos sistemes que funcionen de manera molt diferent, han anat evolucionant en paral·lel.



Figura 4.25: Vista dels elements de la suspensió de doble trapezi [26]

El sistema de doble trapezi normalment es considera que presenta característiques dinàmiques superiors, així com una major capacitat de suportar grans càrregues, i generalment s'ha utilitzat amb més freqüència en cotxes esportius i de competició. Entre les marques en les quals es pot trobar aquesta suspensió figuren Alfa Romeo, Lancia, Maserati, Mercedes-Benz, MG i Pontiac.

El fet de tenir dos trapezis que treballen en el sistema de suspensió que s'esmenta aquí, fa que es puguin donar varies configuracions diferents depenent de les característiques físiques dels trapezis que la formen, ja sigui el trapezi superior o inferior més llarg o

més curt que l'altre. En concret, històricament la suspensió de trapezis curts i llargs (denominada així pel fet de tenir el trapezi superior més curt que el inferior) ha esdevingut un tipus de suspensió molt comuna en l'eix davanter de cotxes de grandària mitjana i gran, com el Honda Accord, Peugeot 407, Citroën C5, Peugeot 508 i Mazda 6 entre molts d'altres.

El doble trapezi també proporciona major estabilitat en situacions d'oscil·lació brusca i de rebot [26].

Suspensió de barra de torsió⁵

Anteriorment s'ha pogut comprovar com s'ha fet esment a aquest tipus de suspensió durant els primers anys de la història de les suspensions.

En aquest apartat es vol remarcar com esdevé un tipus de suspensió consolidada al llarg dels següents anys fins a l'actualitat. Per tant, es pot dir que després de la guerra, l'ús de la suspensió davantera de barra de torsió era una característica referent dels cotxes britànics Morris, començant pel Morris Minor de 1948. Tot i que els cotxes Morris eren de tracció posterior i utilitzaven molles de ballesta convencionals per als seus eixos posteriors. Va romandre en la producció en gran mesura sense canvis fins a l'any 1972 i va ser reemplaçat pel Marina Morris que també va utilitzar el sistema d'amortidor per a la seva suspensió davantera, un dels últims cotxes nous a nivell mundial que es va introduir amb aquest sistema de suspensió i que es va mantenir en producció fins a 1984.



Figura 4.26: Morris Minor del 1950 [27]

⁵ La suspensió de barres de torsió també es pot trobar anomenat com a suspensió d'eix "torsional".

Per altra banda, el vehicle més rellevant americà en usar aquest sistema va ser de Chrysler, fet que comencés a utilitzar la suspensió per barra de torsió al 1957, en cotxes com el Imperial Crown em l'eix davanter; el mateix sistema es va mantenir fins a la introducció de la plataforma K de Chrysler al 1981.

Al 1976, es va redissenyar el sistema i es va introduir en el Dodge Aspen que va introduir barres de torsió transversals fins que la producció va finalitzar el 1989 (amb la plataforma M de Chrysler).

També va ser un gran referent i padrí d'aquest tipus de suspensió, General Motors; que va utilitzar per primera vegada barres de torsió el 1966, començant pels vehicles de la plataforma E (Oldsmobile Toronado i Cadillac Eldorado).

Porsche va utilitzar la suspensió de barra de torsió per a la seva sèrie 356 i 911 des de 1948 fins a 1989. També s'han usat com a suspensió davantera del 914, així com en la suspensió posterior del 924, 944 i 968 [28].

Per altra banda, el Volkswagen Golf MKI de 1974, va introduir l'alternativa econòmica de la barra de torsió en forma de "H" conegut avui com *standard twist beam*, emprat en les següents generacions de VW Golf i en molts vehicles dels anys 90 i 2000 com el Opel Astra. Els braços inferiors actuen com a braços tirats, on en el seu extrem se situen les molles helicoidals i l'amortidor, que té la funció secundària de subjectar el pont posterior. La biga central actua com una barra estabilitzadora flexionant-se, a diferència de les barres de torsió emprades en les suspensions per braços tirats.

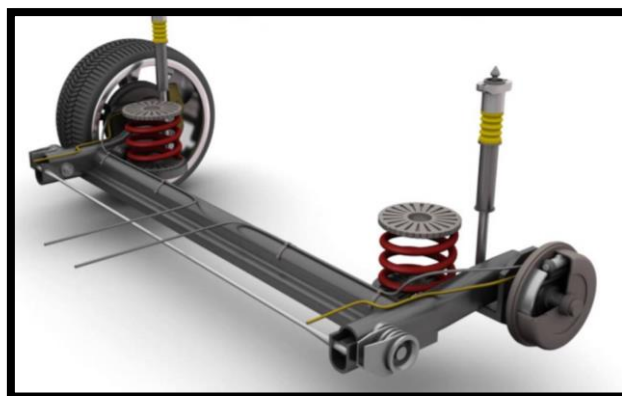


Figura 4.27: Sistema en "H" del Golf Mk1 [29]

Popularitzat per la seva configuració en el Volkswagen Golf MKI, va arribar a convertir-se a partir de la dècada dels anys 90 en el tipus de suspensió adoptat per tots els fabricants alemanys en els segments de cotxes petits i mitjans, fins i tot pel grup VAG també. A la resta d'Europa va ser utilitzat per gran part de models de vehicles francesos en substitució de la suspensió de braços tirats, pels Fiat i per British Leyland en els Maestro/Montego després de l'abandonament de l'ús de la suspensió d'hidragas.

Actualment les suspensions per barra de torsió copen el mercat de cotxes petits, excepte en vehicles italians on és més comú el sistema MacPherson [18].

Suspensió *Multi-link*⁶

Una suspensió *Multi-link* és un tipus de disseny de suspensió per als turismes que normalment s'utilitza en suspensions independents, amb tres o més braços laterals i un o més braços longitudinals. Una definició més àmplia podria passar per dir que una suspensió que tingui tres o més enllaços amb el xassís es podria considerar *Multi-link*. Aquests braços no tenen per què tenir la mateixa longitud.

Va ser introduït per primera vegada a finals de la dècada de 1960 en el Mercedes-Benz C111 i posteriorment a les sèries W201 i W124.

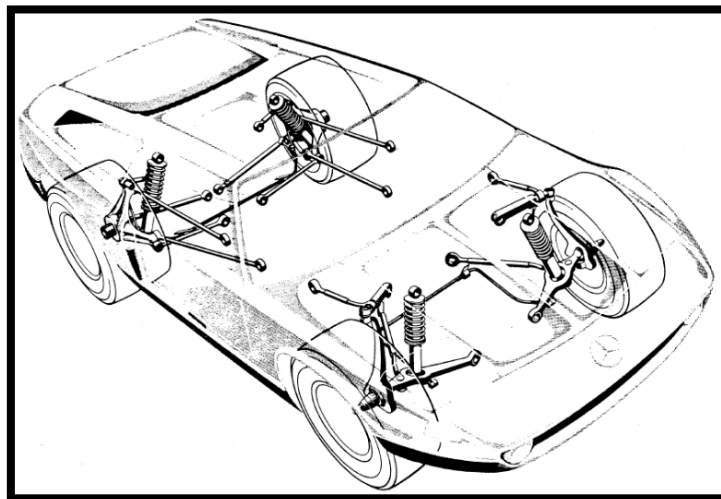


Figura 4.28: Disseny de la suspensió del Mercedes C111 [20]

⁶ La suspensió Multi-Link també es pot trobar amb el nom de “Suspensió de braços múltiples”. S’ha preferit utilitzar la traducció al català per referir-se al mateix concepte.

A principis dels noranta es va començar a instal·lar aquests sistemes de múltiples braços en automòbils en sèrie com a conseqüència dels bons resultats que estava donant des de la dècada de 1960, encara que hi havia reticències de ser instal·lats als eixos no motrius. En l'actualitat les grans berlines adopten aquest sistema tan en un dels eixos com en tots dos [20].

De manera general, cada braç té una articulació esfèrica (rodament de boles) o un casquet de goma a cada extrem. En conseqüència, reaccionen a càrregues al llarg de la seva longitud, a tensió i compressió, però no a flexió. Alguns enllaços múltiples fan servir un braç posterior que té dos coixinets en un extrem.

En una suspensió davantera, un dels braços laterals es reemplaça i es connecta al bastidor o a la caixa de direcció des de l'eix de la roda [30].

Suspensió hidropneumàtica

El sistema hidropneumàtic combina els avantatges de dos principis tecnològics: el sistema hidràulic i el sistema pneumàtic.

Al 1952, Citroën va canviar per sempre la tecnologia de suspensió del cotxe, introduint el seu primer vehicle amb suspensió hidropneumàtica el Traction Avant 15H. Va néixer de la idea de crear un sistema totalment diferent als de la època, amb la principal premissa de oferir un dinamisme i una qualitat superior.



Figura 4.29: Citroën Traction Avant 15H de 1954 en posició elevada [31]

La molla i l'amortidor es reemplaça per una esfera, que s'omple de gas estancat a un costat de l'esfera i un fluid hidràulic incompressible que està connectat a la suspensió per l'altra costat de l'esfera.

Tot i que el sistema aparenti una alta complexitat i poca fiabilitat, es basa en un principi de física bàsic; el gas és compressible i el fluid no ho és. Així, la compressió del gas actua com una molla, mentre que el fluid hidràulic actua com un amortidor.

A més a més, Citroën també utilitza una bomba de fluid per permetre una altura variable del cotxe i poder oferir la possibilitat d'enviar més o menys fluid a una part concreta del circuit.

Va ser obra del empleat de Citroën Paul Magès, que va veure com en el Traction Avant de 1954 va esdevenir un èxit total al muntar-ho al tren posterior.

Un any després, al 1955, Citroën va llançar el DS. El primer cotxe de producció massiva en utilitzar aquest sistema en ambdós eixos.

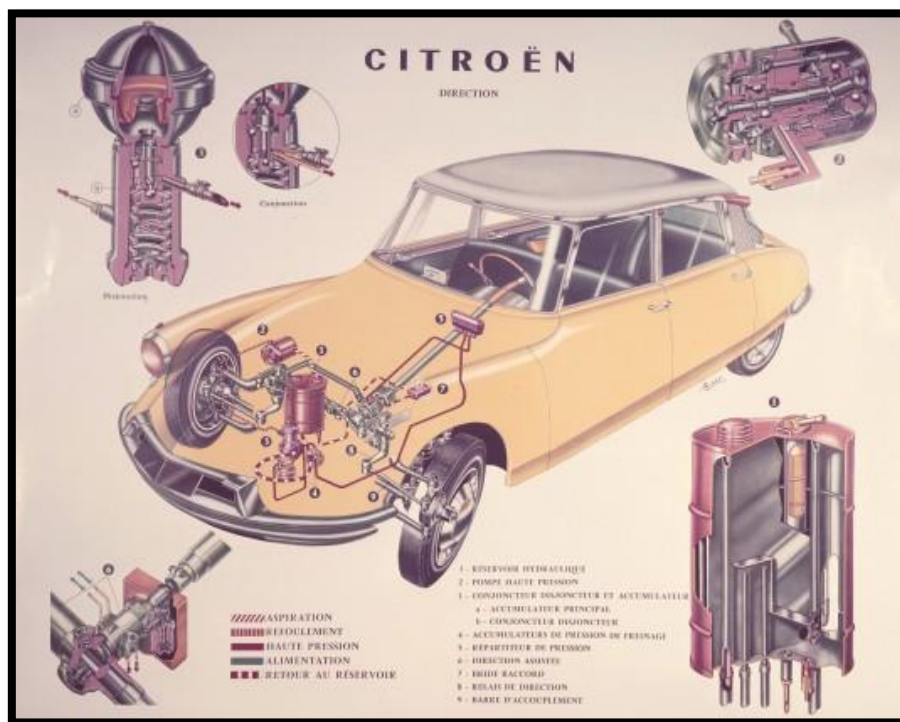


Figura 4.30: Vista en esquema de la suspensió del Citroën DS de 1955 [11]

En el Citroën DS, una bomba hidràulica de 7 pistons amb corretja es impulsada pel motor i proporciona pressió per al fluid hidràulic “LHS” especialment desenvolupat per a aquesta comesa i que també abasteix al circuit de la direcció, de frens, la caixa de canvis i al embragatge. El DS és capaç de variar la seva alçada de 9 a 28 cm respecte del terra.

Degut a problemes amb el fluid hidràulic LHS utilitzat pel sistema, tenia tendència a absorbir aigua i això provocava corrosió al final, Citroën va haver de canviar de fluid a un de oli mineral anomenat LHM a partir del 1967.

Tot i així, Citroën es va quedar amb aquest sistema i el va anar evolucionant fins a crear la suspensió anomenada “hidractiva”.

La suspensió hidractiva va ser introduïda al 1990 amb la presentació del Xantia. Fins llavors, els models amb sistema hidropneumàtic tenien cinc o sis esferes, una per cada roda i costat del vehicle, un acumulador principal i, de vegades, una altra esfera per al sistema de frenada. Però el Citroën Xantia va incorporar una esfera més per a cada eix. Confirmant un desenvolupament del disseny de la suspensió hidropneumàtica de 1954 mitjançant sensors electrònics addicionals i control del rendiment de la suspensió. Incorpora la opció de fer que la suspensió estigui rígida o més tova per viatjar amb comoditat excepcional. Els sensors de la direcció, els frens, la suspensió, el pedal de l'accelerador i la caixa de canvis informen sobre la velocitat, l'acceleració i les condicions de la carretera del cotxe a les computadores d'a bord.

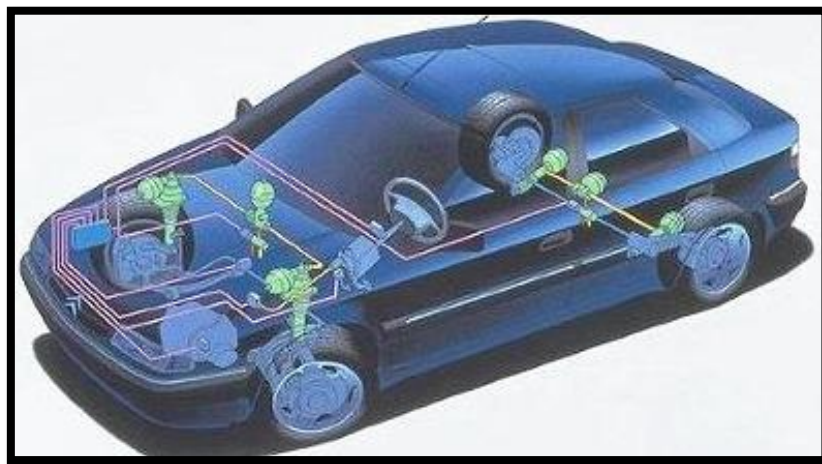


Figura 4.31: Suspensió hidropneumàtica Hidractiva d'un Xantia al 1990 [32]

El Xantia, a més, utilitza suspensions de MacPherson als braços frontals i posteriors, mostrant que la suspensió hidropneumàtica pot adaptar-se a les configuracions modernes [11].

Aquest desenvolupament va mantenir a Citroën en l'avantguarda del disseny de la suspensió, donat l'objectiu a l'indústria automotriu d'un sistema de suspensió activa.

La suspensió hidropneumàtica de Citroën anomenada Hidractiva ha seguit evolucionant, donant pas a la suspensió Hidractiva 2.

La Hidractiva 2, ofereix la possibilitat de canviar entre *Sport* i *Comfort*.

Començant amb el model Xantia de l'any 1994 i el model XM del 1995, tots els models presenten una esfera addicional que funciona com a dipòsit de pressió per al frens posteriors a causa dels nous bloqueigs hidràulics, deixant que el cotxe mantingui l'alçada normal durant diverses setmanes si està parat sense funcionar.

Al 2001, es va llançar la Hidractiva 3 amb el Citroën C5. Això va eliminar la necessitat d'un generador de pressió central. Es van introduir sensors d'ajust d'altura elèctrics i unitats combinades de bomba i esfera. El nou fluid hidràulic LDS també tenia unes propietats hidràuliques molt superiors a l'anterior, en quant a propietats dinàmiques i manteniment del sistema hidràulic [32].

Actualment es pot trobar el sistema hidropneumàtic Hidractiva 3+, muntat en el Citroën C5 de segona generació des de l'any 2011, que incorpora com a principal innovació el BHI, el verdader cor del sistema, que integra una potent caixa electrònica, un generador autònom de pressió hidràulica (bomba i electrovàlvules de distribució hidràulica) i un motor elèctric [33].

És important afegir que aquest sistema ha deixat d'existir com a tal per donar pas a sistemes de amortidors hidràulics derivats de la suspensió Hidraciva però amb un funcionament completament diferent.

Suspensió Hidragas

Hidragas és un sistema de suspensió per automòbils que ha estat utilitzat en molts automòbils produïts per British Leyland.

Inventat per l'enginyer britànic Alex Moulton, Hidragas és una evolució del sistema hidropneumàtic de Citroën. Va ser introduït per primera vegada al 1973 en el model del Austin Allegro, i posteriorment va adaptar-se al Austin Princess de 1975 i al seu successor, l'Austin Ambassador de 1982. Aquest sistema va tractar d'abordar el compromís de poder manipular la suspensió del cotxe mitjançant la interconnexió de la suspensió de la part frontal i posterior del cotxe d'alguna manera. La suspensió

d'hidragas intenta dur a terme la mateixa funció i avantatges que el sistema hidropneumàtic desenvolupat per Citroën, però sense la seva complexitat.



Figura 4.32: Austin Allegro 1500 de 1973 [34]

La clau del sistema són les unitats de desplaçament del líquid, es tracta d'esferes pressuritzades que contenen gas nitrogenat. Aquestes substitueixen les molles d'acer convencionals. El mitjà per pressionar el gas en els desplaçaments es realitza mitjançant el pressuritzat d'un fluid hidràulic i posteriorment, es connecta al desplaçament de la roda del seu costat, a diferència del sistema Citroën que utilitza un fluid hidràulic continuament pressionat per una bomba accionada per un motor i regulada per un recipient de pressió central.

Malgrat problemes inicials degut a la innovació del sistema, es va anar convertint gradualment en una alternativa efectiva i eficient a les molles d'acer en els models posteriors de BL/Rover Group, com el Metro d'Austin i el MGF. Mentre que el Austin Metro va ser elogiat pel seu maneig, i va oferir una millora significativa en la qualitat de muntatge, també es va criticar la seva tendència a rebotar en camins irregulars, precisament degut a les característiques de la interconnexió que es pretenia eliminar.

Finalment, es va decidir afegir una vàlvula reguladora al conducte d'interconnexió, sent l'Austin Maxi l'únic automòbil de producció en presentar aquest sistema.

Tanmateix, al 1978 es va acabar la producció de les ampolles de líquid hidràulic per al sistema Hidragas per part de Dunlop (principal productor) i BL va modificar les ampolles d'hidragas per adaptar-se. Això va implicar la instal·lació d'un nou disseny. Fent que el MGF fos l'últim vehicle en utilitzar aquest disseny. El sistema hidragas es va desestimar en favor de la suspensió convencional de Rover [35].

Suspensió de braços tirats i semi-tirats

És un sistema de suspensió semirígid que permet reduir les vibracions i inclinacions que pot rebre el vehicle. Normalment treballa conjuntament amb altres sistemes de suspensió. Com per exemple en la suspensió per barra de torsió o d'eix de torsió.

Quan no forma part d'un altre sistema de suspensió, rarament s'utilitza al tren davanter (el cas dels braços longitudinals superposats del Volkswagen Beetle original) i s'utilitza principalment en el tren posterior de tot tipus de vehicles.

Va ser popularitzat pels Fiat/Simca amb motor posterior i pel Citroën 2CV i Renault 4, estenent-se després a tots els vehicles francesos de tracció davantera en combinació amb la suspensió de barra de torsió. A partir de la dècada de 1970 el seu inferior cost enfront dels altres sistemes de suspensió com el de doble trapezi va ajudar a la seva popularització, emprant-se també en molts vehicles esportius.



Figura 4.33: Citroën 2CV [36]

D'una banda, l'arc que descriuen les rodes seguint el recorregut de la suspensió modifica la batalla però no la via, de manera que com succeïa amb l'antiga suspensió per pilar lliscant, quan el xassís s'inclina en una corba, la roda s'inclina amb ell perdent el paral·lelisme amb la carretera.

Aquest sistema de suspensió no era factible per a vehicles de propulsió posterior, per la qual cosa, Lancia va desenvolupar els triangles semi-tirats d'ancoratge oblic pel model Lancia Aurelia de 1950, variació que adoptarien pràcticament tots els fabricants als anys posteriors.

L'ancoratge oblic dels trapezis o braços restringeix el desplaçament horitzontal de la roda respecte del diferencial a canvi d'induir caiguda quan s'inclina la carrosseria. D'aquesta manera es manté la màxima superfície de contacte entre els pneumàtics i la carretera.

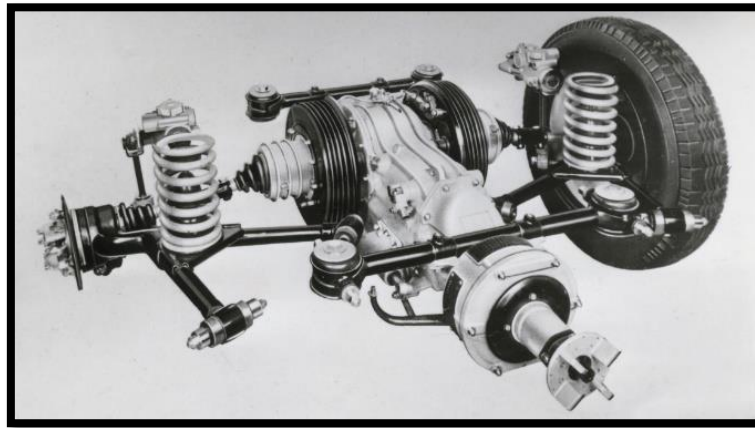


Figura 4.34: Suspensió de braços semi tirats oblics del Lancia Aurelia [37]

D'altra banda, la incidència de la força lateral és molt major que en sistemes basats en braços transversals, la qual cosa fa que sigui un sistema de suspensió que tingui tendència a provocar modificacions de convergència a les rodes degut a la configuració i la inclinació dels braços.

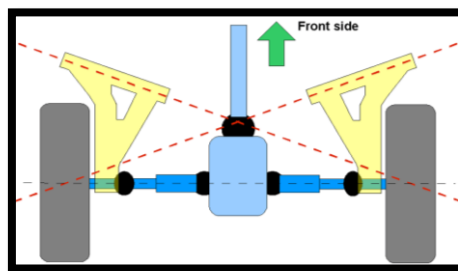


Figura 4.35: Suspensió de braços semi tirats en l'eix motriu amb ancoratge oblic [18]

Als anys posteriors, aquest sistema de suspensió va tenir el problema d'utilitzar ancoratges especials capaços de deformar-se en funció de la força lateral, augmentant la convergència en la roda exterior i provocant divergència en la interior. Per controlar la tendència a enfonsar la roda exterior, va ser imprescindible l'ús de mecanismes auxiliars, fins i tot en els models més senzills, com en el Citroën 2CV o al Renault 4.

Una variant va ser la suspensió Moulton dissenyada pel Austin Mini original, al tren posterior usa uns braços tirats que comprimeixen uns cons compactes de cautxú i actuen de palanca, dotant al vehicle d'un maneig característic similar al d'un Kart.

Aquest sistema de suspensió també va ser utilitzat com a avantsala de les suspensions hidràuliques i d'hidragas del grup British Leyland que també van emprar braços tirats al tren posterior. Citroën per la seva banda també va utilitzar braços tirats al tren posterior de tots els seus vehicles amb suspensió hidropneumàtica fins al primer Citroën C5 [18].

Les suspensions de braç tirat o de braç semi-tirat són suspensions que van esdevenir molt populars a la dècada del 1990. Actualment, aquest tipus de suspensió s'utilitza habitualment en gairebé tots els sedans d'alta gama i gama mitja com a suspensió en l'eix posterior [38]. Sent Mercedes-Benz un dels principals impulsors.

4.4. Les suspensions en l'actualitat i el seu futur

Introducció:

En l'actualitat, la indústria de l'automoció aposta fortament per les suspensions adaptatives i semi-adaptatives, que són aquelles que permeten variar la duresa i l'alçada d'elles mateixes mitjançant actuadors electrònics i paràmetres que tinguin programats. En diferents nivells de precisió i manera depenent de cada tipus.

Tal i com mostra la *Figura 4.36*, es pot observar com en l'esquema de funcionament, hi ha la presència d'un controlador electrònic que actua sobre l'amortidor (representat com *leveling actuator*), fent variar el comportament d'ell. I també hi ha l'ús de sensors (representats com *Isolator*) que assisteixen al controlador per poder determinar la seva actuació.

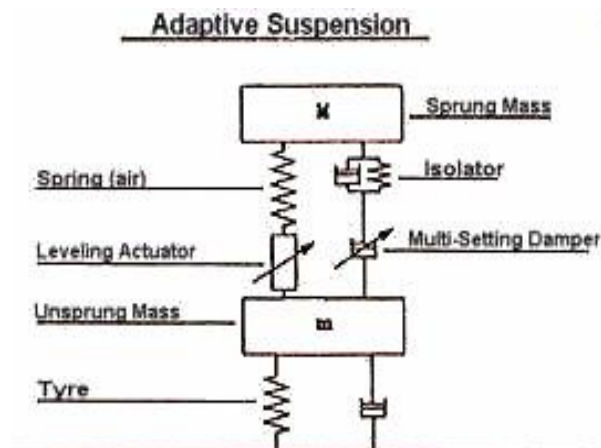


Figura 4.36: Esquema de una suspensió adaptativa [33]

Val a dir que no només s'actua únicament sobre l'amortidor, també es pot actuar sobre tot el conjunt de la suspensió fent variar el comportament dinàmic del cotxe i incrementant la seguretat dels seus ocupants i de l'entorn.

En aquesta part del treball es comentaran alguns dels tipus de suspensions que les grans companyies i apoderats del sector estan invertint tecnologia i desenvolupament, per donar oferta a les noves exigències del mercat automòbil en quant a prestacions i seguretat.

Fent d'aquesta manera, que cada fabricant aposti per un aspecte en concret de la suspensió en millorar o inclús intentar marcar una nova tendència de futur i una nova direcció a seguir.

Els exemples a continuació són només unes mostres de les principals solucions actuals, però es poden trobar més tipus i models de suspensions, tan els de tipus adaptatius o semi-adaptatius que són la gran majoria, com moltes altres variants.

4.4.1.EDFC (controladors de força per a suspensions)

A l'any 2005, va aparèixer un dels primers controladors de força electromagnètica (EDFC).

La premissa és fer ús de quatre servomotors, un per cada puntal del vehicle, cadascun

dissenyat per reemplaçar l'ajustador manual del cargol dels amortidors.

Una unitat de control s'instal·la a l'habitacle del vehicle i permet canviar la força d'amortiment de les suspensions frontals i posteriors sense sortir del vehicle. El seu funcionament es basa en connectar els 4 servos als cargols ajustadors dels amortidors i a partir d'aquest moment, l'usuari des de la controladora de dins del cotxe pot seleccionar en un rang de valors el nivell de duresa dels amortidors. Quan se selecciona el valor, els servomotors giren una certa quantitat, equivalent a com si l'usuari girés ell manualment els cargols que determinen la duresa dels amortidors.

Actualment, les unitats tenen varies configuracions de memòria per tenir diferents perfils de duresa ja redefinits per una major comoditat i rapidesa. Com a avantatge principal, es pot dir que és un sistema que actua sobre els propis amortidors, es pot instal·lar posteriorment a la compra del vehicle i pràcticament es pot realitzar a qualsevol taller. Però com a inconvenient, els amortidors han de ser regulables per ells mateixos i de manera manual per poder instal·lar aquest sistema [39].



Figura 4.37: Components del sistema EDC de la marca TEIN [39]

4.4.2. Suspensió BOSE L.E.M

Aquest sistema de suspensió digital, inventat per BOSE té la clau del seu funcionament en que substitueix l'ús de les molles i amortidors al vehicle per un motor electromagnètic lineal i un amplificador de potència.

Dins del motor electromagnètic lineal hi ha imants i bobines de filferro. Quan s'aplica energia elèctrica a les bobines, el bloc de l'amortidor es contrau i s'estén, creant un moviment d'amortiment entre la roda i el cos del cotxe.

Una de les grans avantatges d'un enfocament electromagnètic és la velocitat. El motor electromagnètic lineal respon prou ràpidament com per contrarestar els efectes dels cops i els sots, permetent així realitzar les accions prèviament reservades per als amortidors.



Figura 4.38: Sistema de suspensió BOSE a l'eix davanter [40]

En segon mode de funcionament, el sistema pot utilitzar-se per contrarestar el balanceig de la carrosseria del cotxe mitjançant la predicció i variació de la rigidesa de la suspensió a les corbes. També incorpora la opció variar l'alçada de manera dinàmica del vehicle.



Figura 4.39: Comparativa del comportament dinàmic de la suspensió BOSE [40]

L'amplificador de potència subministra energia elèctrica al motor en resposta a les senyals dels algoritmes de control. Aquests algoritmes matemàtics funcionen observant mesures preses pels sensors de diversos punts clau de l'automòbil i informació de l'estat dels amplificadors de potència instal·lats amb cada motor lineal.

Els amplificadors es basen en la commutació de les tecnologies d'amplificació iniciades pel Dr. Bose al MIT a principis dels anys seixanta. El fet realment intel·ligent dels amplificadors de potència és que són regeneradors. Així, per exemple, quan la suspensió troba un forat al paviment, s'utilitza l'energia per estendre l'amortidor i aïllar els ocupants del vehicle de la pertorbació. El motor funciona com a generador i retorna l'alimentació a través de l'amplificador. En fer-ho, el sistema BOSE requereix l'equivalent de menys d'un terç de la potència del sistema de climatització d'un vehicle.

BOSE també ha aconseguit encabir aquest sistema en un sistema de connexió de dos punts amb el xassís del vehicle, seria equivalent al mecanisme de subjecció d'una suspensió MacPherson. Es tracta d'un disseny bastant compacte, no gaire més gran que un amortidor normal.

Aquest sistema no ha prosperat per que al ser un sistema tant diferent al que es feia ús a l'any 2005, els costos van ser molt grans com per fer econòmicament viable un turisme de masses. A part que també era un procés de fabricació difícil de portar a la fabricació en massa.

És per tant, que es va utilitzar com a campanya de màrqueting i com a demostració d'intencions per part de la marca BOSE. Fins que la companyia ClearMotion va comprar les patents per poder adaptar-ho al mercat actual a un preu assumible, estant previst que debuti a l'any 2019 en models de gama alta com BMW o Tesla, entre altres [40].

4.4.3. Suspensió intel·ligent Tenneco

La divisió *Ride Performance* de Tenneco és la encarregada del sistema de suspensions intel·ligents per a automòbils. Des de l'any 2002, ho equipen en l'actualitat sis milions de cotxes de deu marques diferents.

És encara un percentatge molt petit del parc automobilístic, però s'espera que al 2025 el 15% dels automòbils incorporin de sèrie algun sistema de suspensió intel·ligent, enfront del 2% actual.

Les exigències de confort, seguretat i estabilitat per part dels conductors, i les constants demandes dels fabricants en matèria de reducció de consum, pes i diferenciació de mercat respecte a la competència, alimenten les esperances de creixement d'aquests dispositius.

Segons Monroe (propietari de Tenneco), el funcionament de les seves suspensions es basa en un sistema electrònic que regula en tot moment els nivells de suspensió del cotxe gràcies a vàlvules electro-hidràuliques en els amortidors, que mesuren els senyals de manera molt ràpida, atenent a les condicions de la carretera, la conducció i els moviments del vehicle. Aquest nivell de requeriment de funcionament del sistema fa que sigui complicat el seu desenvolupament i per això és una tecnologia encara amb poca immersió al parc automobilístic.

Alguns dels exemples de vehicles que les porten instal·lades són: McLaren 570s, Ford Focus RS, Audi Q3, Volvo XC90, Audi A5 i BMW Serie 4 entre molts altres.

Incorporen dos modes, el mode “confort” i el mode “esportiu”, que prement un botó a l'interior del cotxe és suficient per seleccionar el tipus de comportament del vehicle [41].



Figura 4.40: Suspensió “intel·ligent” de Tenneco [41]

Els amortidors semi-actius variables continus (CVSAe) del sistema de suspensió M adaptativa ajuden a l'equilibri en carreteres mal pavimentades o deteriorades, i també amb les vibracions del terreny en el mode “Confort”, mentre que uns ajustaments més tensats de l'amortiment ajuden en la variant esportiva, creant una sensació més dinàmica i una resposta més directa.

Els conductors poden variar entre els ajustament de la suspensió prement el botó de control *Driving Experience*. Els sensors que hi ha en els amortidors CVSAe i el sistema de transmissió de dades contínues fa que a través de l'ordinador d'a bord es puguin ajustar els amortidors en temps real per aconseguir el millor rendiment en cadascun dels modes suspensió seleccionats [42].

4.4.4. Suspensió Tenneco CVSA 2

Aquest tipus d'amortidor de doble vàlvula, són les de última generació fabricades per Tenneco. I, per tant, una evolució de les anteriorment citades.

El sistema es basa en 4 amortidors connectats a una ECU. Els amortidors tenen dos vàlvules electròniques que controlen la suspensió i el rebot i això permet que cada amortidor pugui ser controlat de manera independent i es pugui controlar la seva compressió i el seu rebot.

Tenneco ha dissenyat les suspensions pensant en la reducció del pes a tot el vehicle i estan construïdes íntegrament en alumini.

La ECU emmagatzema tota la informació dels sensors del cotxe (com ja s'ha comentat anteriorment en les CVSAe) però en aquest cas, té la avantatge de estar connectada als sensors centrals del cotxe, permetent que unifiqui i treballi conjuntament amb la informació del sistema de suspensió i el sistema electrònic del cotxe per poder anticipar i adaptar-se millor [43].

Aquesta suspensió està pensada per competir, millorar el confort i la esportivitat dels vehicles respecte una suspensió convencional. També val a dir que es tracta d'una suspensió semi-adaptativa, no pas una suspensió totalment intel·ligent.

4.4.5. Suspensió ACOCAR de Tenneco

Tenneco ha desenvolupat una variant de les seves suspensions totalment adaptatives per al fabricant Ford i els seus nous models com per exemple el S-Max.

El sistema ACOCAR inclou uns amortidors amb dues vàlvules variables que aconseguixen fer molt més dinàmica la carrera del pistó de l'amortidor amb les irregularitats de la carretera. Evitant que es transmeti en excés al xassís i per tant, als ocupants. A més a més, consta d'una bomba hidràulica addicional que permet donar una energia suplementaria a la suspensió, resultant en un control més efectiu contra les forces d'inèrcia del vehicle.

Gràcies a les dues vàlvules, l'oli pot circular per una vàlvula però no per l'altra i al revés. Donant un dinamisme i control dels moviments del pneumàtic en front de les irregularitats molt més acurat.

La principal avantatge de l'ús de la bomba hidràulica, és permetre un control de les fluctuacions de la roda davant de les petites irregularitats de la carretera. Fent que el contacte amb el sol i la roda sigui més homogeni i constant.

Finalment també cal destacar que Tenneco afirma que tot el sistema de les bombes auxiliars consumeix menys que tenir les llums enceses del cotxe, comparativament [44].



Figura 4.41: Amortidor ACOCAR de Tenneco [44]

4.4.6. Sistema contra-bolcament de BMW

BMW ha desenvolupat recentment el BMW-ARC, que és un control de prevenció de bolcament, posant un accionament rotatiu hidràulic al centre de la barra estabilitzadora a la part posterior del vehicle, tal com es mostra a la *Figura 4.42*.



Figura 4.42: Perfil del sistema BMW-ARC instal·lat en un BMW 545 [45]

El sistema de barra estabilitzadora actiu desenvolupat per BMW es considera com a suspensió activa hidràulica i consta d'una bomba hidràulica amb dipòsit d'oli, sensors d'acceleració lateral, unitat de control electrònic, bloc de vàlvula hidràulica i dues barres estabilitzadores actives amb actuadors hidràulics rotatius.

Les seves funcions són reduir l'angle de rotació durant les corbes de manera significativa, ajustar dinàmicament les característiques d'auto-adreça en funció de la velocitat del vehicle i les condicions de conducció; resultant en una millor manipulació, agilitat i precisió de direcció; i finalment eliminar un efecte secundari negatiu de les barres estabilitzadores passives [45].

4.4.7. Suspensió Magic Body Control de Mercedes-Benz

Es tracta d'una suspensió destinada a vehicles de gama Premium de Mercedes, amb aquesta suspensió el que s'ha buscat és un major control del vehicle.

Aquest sistema també anomenat ABC (Control Actiu del Cos) inclou el puntal hidràulic de molles d'acer, l'acumulador d'alta pressió, la bomba hidràulica, els amortidors, els

sensors i la unitat de control electrònic. Amb l'ABC, els braços de la suspensió es col·loquen entre les rodes i el cos del vehicle. El sistema hidràulic està controlat per una unitat electrònica que analitza nombroses senyals de sensors emesos mentre el vehicle es mou.

El sistema ABC controla el flux d'oli als amortidors de cada roda independentment. El moviment dels actuadors hidràulics compensa el desnivell de la carretera i, per tant, el moviment de la carrosseria es redueix en bona part. A més, el sistema ABC baixa lentament el vehicle a velocitats superiors a 100km/h [45].

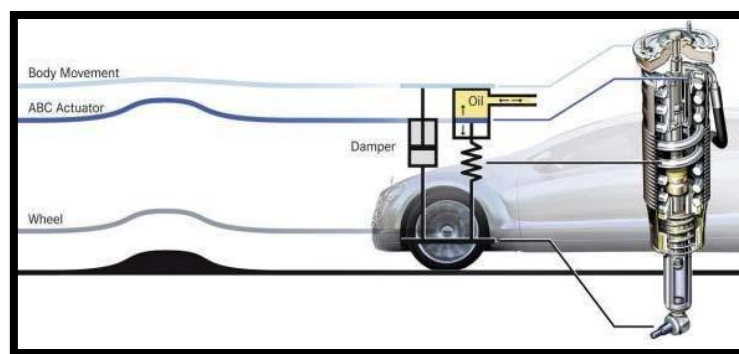


Figura 4.43: Suspensió activa hidràulica per al sistema ABC [45]

Aquest sistema va ser instal·lat per primera vegada en el Mercedes-Benz CL de 1999. Al 2013, Mercedes-Benz va incorporar una gran millora al sistema ABC, anomenada *Magic Body Control* i que s'ha instal·lat al Mercedes Classe S (W222) del 2014 en endavant.

El nou sistema, anomenat *Dubbed Magic Body Control* (MBC), utilitza càmeres estèreo en comptes de projectors làser, que poden llegir la superfície de la carretera 15 metres abans del cotxe de tal manera que el sistema està equipat amb un sistema de detecció de carreteres que carrega per avançat les irregularitats que va detectant al terreny abans que el vehicle arribi a passar per sobre d'elles. Aquesta detecció i anàlisi de la carretera ho pot fer fins a una velocitat de 130km/h.

Un cop fet aquest escaneig, el sistema ajusta l'amortidor en cada roda per contrarestar el màxim possible les imperfeccions de la carretera. Segons els enginyers experts de la marca, el vehicle que incorpora aquest sistema pot afrontar obstacles de un màxim de 18 cm sense que a l'interior del vehicle es noti pràcticament res. L'amortidor pot

aconseguir aquesta fita gràcies a un recorregut extra del pistó i a poder treballar a grans pressions (200 bars) per poder aixecar la roda i tot el mecanisme de suspensió quan detecta un sot o un ressalt.

Aquest sistema només pot estar actiu en el mode “Confort” de la suspensió; ja que en el mode “Sport” no actua aquest sistema de escàner de la carretera.

Aquest sistema, a més a més, pot detectar si hi ha un pas de zebra a continuació i dona la ordre al sistema de suspensió de no actuar.

Aquest sistema a dia d'avui encara té les seves limitacions que venen donades de les pròpies limitacions de les càmeres 3D que analitzen la superfície; com per exemple si la carretera està molla o és de nit, la seva eficiència baixa o es podria tornar ineficient depenent de les condicions. Els enginyers de Mercedes-Benz, tot i així, preveuen que en els propers 5 anys tindran una tecnologia suficient per poder plantejar un nou pas en endavant en aquest aspecte.

Aquestes modificacions per a la classe S han implicat altres millores secundàries que son igualment importants en el conjunt de elements de la suspensió: l'amortiment de la roda ara es pot regular, s'ha millorat la resposta del puntal⁷ i s'ha millorat l'eficiència de la bomba [46] [47].

Tot i tenir totes aquestes avantatges respecte una suspensió passiva o inclús respecte diverses solucions en el mateix camp de la competència, només pot ser instal·lat en vehicles amb tracció posterior i no pas en vehicles amb tracció de davantera o total.

4.4.8. Suspensió AIRmatic de Mercedes-Benz

Aquest sistema neix per poder instal·lar un sistema de suspensió pneumàtica adaptativa a qualsevol vehicle sense importar quin sigui el seu eix motriu i a un cost més raonable, que no pas la suspensió ABC esmentada just anteriorment.

⁷ En anglès “strut”, fa referència a la unió en forma de trapezi entre les rodes, l'amortidor i el xassis del vehicle. Molt comú en les suspensions MacPherson.

La suspensió pneumàtica de Mercedes-Benz s'utilitza des de fa molts anys però és al 1998 en el "Clase S" on s'instal·la per primera vegada el sistema AIRmatic.

Les funcions d'aquest sistema són:

- L'ajust de nivell: Permet variar l'altura de la carrosseria respecte al ferm de forma manual pel conductor o de forma automàtica en funció de la velocitat.
- La regulació electrònica de nivell: En funció de la càrrega del vehicle, aquest sistema manté anivellat el cotxe de forma automàtica.
- L'amortiment adaptatiu: En funció de les acceleracions transversals i longitudinals, l'estil de conducció i l'estat de la calçada, la suspensió varia la duresa de l'amortidor fent més confortable i segura la conducció del vehicle.

El sistema AIRmatic és un sistema de suspensió integral. Quan el motor està en marxa manté constant el nivell del vehicle, es manté de forma independent en l'eix davanter i posterior, i és indiferent de la càrrega del vehicle.



Figura 4.44: Conjunt de suspensió AIRmatic [48]

Per dur a terme aquesta tasca necessita un subministrament constant d'aire comprimit proporcionat per un compressor elèctric cap als amortidors telescòpics. Aquest flux d'aire dependrà del que indiquin els sensors de nivell de cadascuna dels amortidors telescòpics. Els senyals són rebuts per la unitat de control, qui controla l'obertura i tancament de les vàlvules de control en funció de les necessitats detectades.

El sistema també compta amb un acumulador d'aire comprimit que permet una regulació del nivell del vehicle estant parat el motor. Un sensor de pressió que es troba integrat en el conjunt d'unitat de vàlvules s'encarrega de vigilar la pressió dins de l'acumulador.

El sistema d'amortiment adaptatiu regula les forces de l'amortiment a les exigències del conductor o de la calçada. Per complir aquesta funció la unitat de control rep la informació de diversos sensors i determina amb gran exactitud les forces que actuen sobre el cotxe, basant-se en elles, controla la força d'amortiment de cadascuna de les rodes fent actuar dues vàlvules electromagnètiques que té cada amortidor.

Cadascuna de les vàlvules d'amortiment es pot activar individualment provocant una duresa diferent en l'amortidor. Encara que l'ajust de la duresa es fa automàticament, el conductor té l'opció de seleccionar en el quadre de comandament el diagrama de suspensió que prefereix (confort, automàtic o esportiu) [48].



Figura 4.45: Control de la suspensió des de la consola central [48]

4.4.9. Suspensió d'aire CDC⁸ de Volkswagen

Aquesta suspensió s'ha instal·lat per primera vegada al model Phaeton de VW.

La suspensió d'aire és un sistema de suspensió per al vehicle que es pot combinar amb un sistema de control de vibracions en els amortidors. La suspensió es pot anivellar per si sola, mantenint el xassís del vehicle a nivell constant. El nivell del vehicle es controla

⁸ CDC: *Continuous Damping Control* (control continu d'amortiment)

mitjançant la pressió que actua sobre els amortidors d'aire.

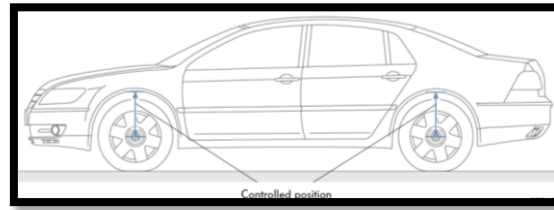


Figura 4.46: Distància a controlar per les suspensions [49]

A més dels avantatges bàsics de l'altura variable, la suspensió *Full load-bearing air suspension*, fa possible establir diferents nivells d'alçades del vehicles.

Full load-bearing significa que només utilitza l'aire del sistema de suspensió com a mètode amortidor del vehicle en les quatre rodes. Aquest fet és un element diferenciador respecte altres sistemes d'aire en els que el acte d'amortir les imperfeccions de la carretera o de donar dinamisme al cotxe és ajudat per altres elements que formen el conjunt de la suspensió i que són d'acer, plàstics, cautxús i gas. Aquests sistemes són anomenats *partially load-bearing*.

Com a trets característics, té l'opció d'establir tres altures per al vehicle (dos de les quals són seleccionables per l'usuari):

- Nivell de suspensió normal (NN).
- Nivell de suspensió alt (HN), que és 25 mm per sobre del NN i destinat a conduir per carreteres en mal estat.
- Nivell de suspensió baix (TN), que és 15 mm més avall del NN. L'alçada del cotxe se selecciona automàticament depenent de la velocitat, a més si es condueix a altes velocitats per l'autopista, és selecciona automàticament.

El sistema també canvia automàticament a un altre nivell segons la dinàmica de conducció per obtenir una eficaç estratègia de control del vehicle. L'alçada del vehicle s'ajusta automàticament. La configuració "Confort" de l'amortidor és automàticament ajustada a "Sport" a majors velocitats per garantir un control i una estabilitat majors i més segures [49].

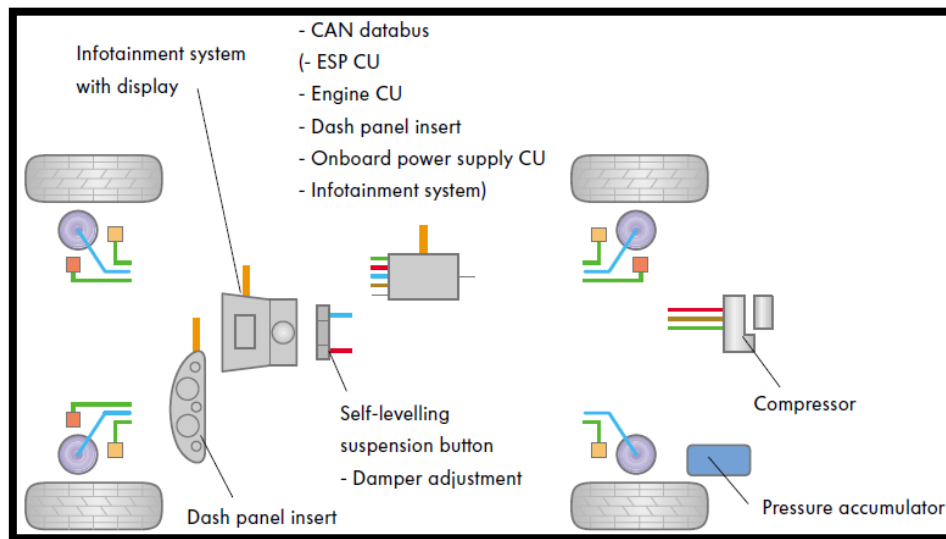


Figura 4.47: Esquema dels elements del sistema de suspensió del VW Phaeton [49]

4.4.10. Suspensió modular del VW Passat

La suspensió davantera està basada en una suspensió de tipus MacPherson estàndard, fa ús de un acer d'alta resistència en l'eix transversal que connecta les dues parts de la suspensió davantera.

Però els amortidors tenen un nou disseny tubular que permet un rang de treball més ampli. Això permet corregir les inclinacions laterals del cotxe i convertir-lo en més rígid. Aquest aspecte s'ha treballat en profunditat per poder corregir l'angle d'inclinació dels amortidors en la suspensió de tipus MacPherson.

Les barres estructurals de les suspensions, s'han redissenyat fent-les tubulars, de tal manera que són més lleugeres i més resistents i també generen menys vibracions al xassís del vehicle.

La suspensió posterior del vehicle està basada en un eix modular. Fet que ha aconseguit que sigui molt més compacte que la anterior generació.

Es basa en una suspensió de tipus multi-braç de quatre connexions. Aquesta nova generació de suspensió s'ha fet molt més petita que l'anterior, connectant els elements amb menys enllaços que l'anterior de tal manera que s'obté una sensació més directa

en la conducció [50].



Figura 4.48: Ambdós eixos de la nova suspensió del VW Passat [50]

4.4.11. Suspensió Four-C⁹ de Volvo

Aquest sistema és un exemple més de sistema de suspensió controlat amb una centraleta però amb alguna particularitat.

El Volvo S60R és el primer Volvo que porta instal·lat el sistema de suspensió adaptativa desenvolupada en col·laboració amb Öhlins Racing AB i Monroe. Consisteix en amortidors de duresa variable controlats per una centraleta que rep la informació de diversos sensors i que està connectada al sistema electrònic del cotxe. Cada mil·lèsima de segon la centraleta alterna la informació del xassís amb la de les rodes.

La major part de la informació que arriba a la centraleta prové dels sensors que indiquen l'alçada de la carrosseria, però també rep la informació de dos acceleròmetres situats a la part davantera i posterior del vehicle i un altra que mesura el desplaçament del volant. Al estar integrada al sistema electrònic del vehicle, la centraleta pot comptar amb informació com el desplaçament de les rodes que transmeten els sensors de gir, i d'aquesta manera pot anticipar situacions de perill potencial. Per exemple, si el conductor pressiona el pedal del fre, una senyal elèctrica es transmet més ràpid que no

⁹ *Continuously Controlled Chassis Concept* (Concepte de xassís constantment controlat)

pas els reflexes humans, i el sistema endureix els amortidors abans de que comenci el cotxe a frenar. Amb tota aquesta informació, la centralita adequa la duresa de cada amortidor per proporcionar el millor contacte possible entre la roda i el sol, sense que la suspensió sigui incòmoda.

A més, compta amb tres modes seleccionables: confort, esportiu i esportiu avançat [33].

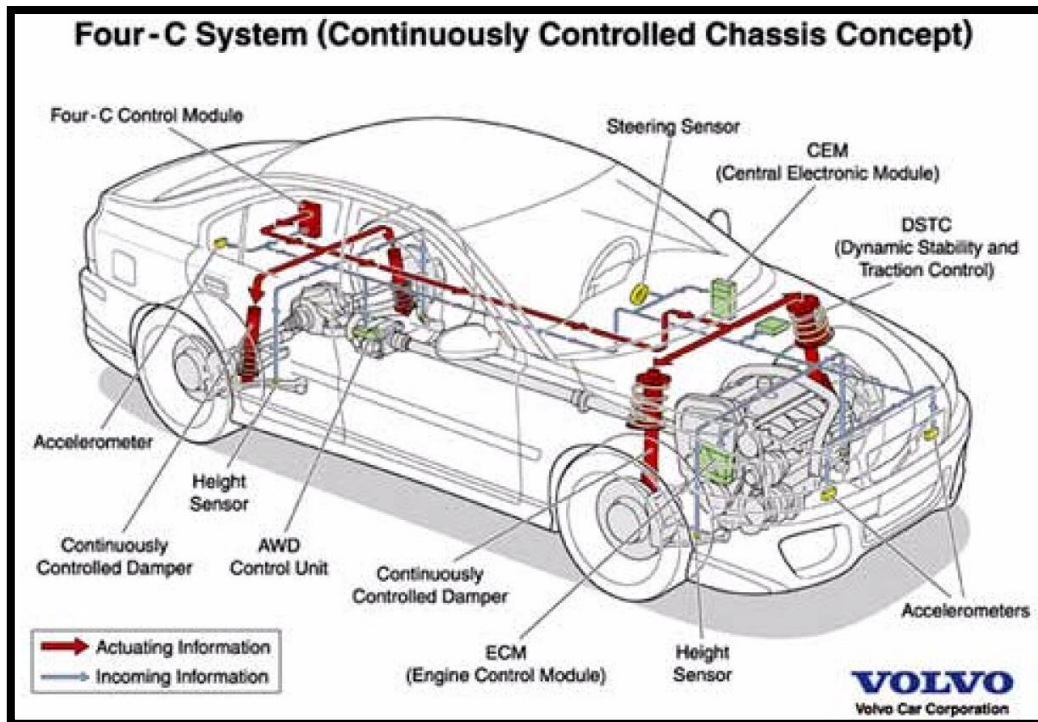


Figura 4.49: Esquema del sistema Four-C del Volvo S60 R [33]

4.4.12. Suspensions Öhlins CESi de Volvo

El Volvo Polestar 1 serà el primer vehicle del món en incorporar les noves suspensions CESi (Suspensions constantment controlades electrònicament) del fabricant Öhlins.

Es tracta de suspensions totalment actives que es poden adaptar “instantàniament” a les condicions del terreny i es pot variar totalment el seu comportament des de les opcions del ordinador d'a bord.



Figura 4.50: Amortidor de la suspensió CESi [51]

La part posterior del vehicle (del Volvo Polestar 1) compta amb una configuració de suspensió multi-braç amb els elements dels trapezis dels braços construïts de composite¹⁰ en comptes de molles helicoïdals. Aquesta suspensió permet neutralitzar el balanceig de la carrosseria del vehicle al fer una corba, minimitzar les vibracions i els rebots posteriors a les irregularitats de la carretera.

En l'eix davanter compta amb una configuració de suspensió de doble trapezi connectant cada roda amb dos *links* transversals per minimitzar el sobre-viratge al girar. La majoria de les parts de la suspensió estan construïdes en alumini d'alta resistència per reduir la massa no suspesa del vehicle [51].

4.4.13. Suspensions d'aire del Tesla Model S

És important fer esment al sistema de suspensió del Tesla Model S ja que simbolitza el cotxe del futur i està causant un enorme impacte mediàtic i gràcies a això les implementacions tecnològiques que pot incorporar poden marcar el camí a seguir per a la resta de fabricants en cotxes elèctrics de característiques semblants.

La suspensió d'aire que porta instal·lat el Model S no és la més barata, però té algunes avantatges realment úniques pel que es demanda en un vehicle com aquest. Es pot ajustar perfectament a diferents versions del cotxe, tenint en compte que el pes de les bateries té un efecte directe en el comportament del vehicle.

¹⁰ Material molt resistent constituït de fibres de vidre, de carboni, de bor o de ceràmica que s'empra principalment en la indústria aeronàutica i d'automoció entre d'altres.

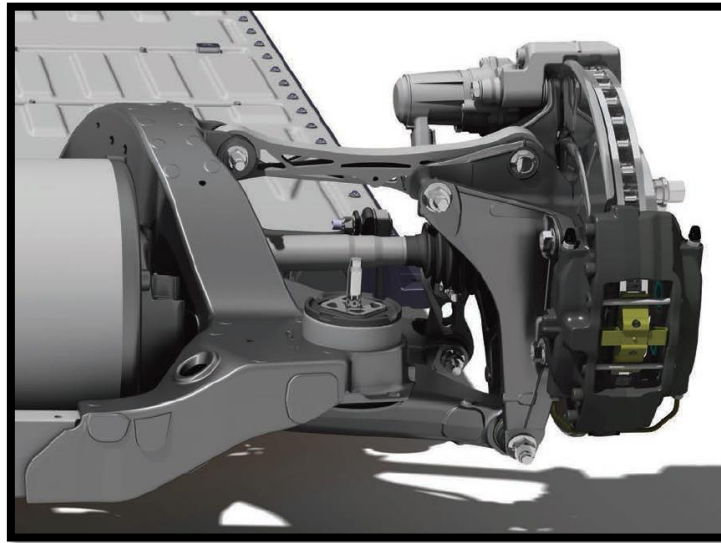


Figura 4.51: Model 3D de la suspensió i fre del Tesla Model S [52]

Amb una suspensió de molles o hidràulica, faria falta fabricar i dissenyar molles diferents. Amb la suspensió d'aire, es pot ajustar dinàmicament depenent del model sense variar el procés de fabricació, i dóna la possibilitat d'ajustar l'alçada del vehicle en marxa (amb quatre nivells diferents disponibles), a més, per al Tesla Model S, el màxim exponent és la eficiència energètica i el fet de poder circular a altes velocitats i que la suspensió pugui abaixar el cotxe i reduir l'alçada respecte a la carretera fa que sigui més aerodinàmic i més segur a altes velocitats al restringir l'aire que passa per sota del cotxe.

El Model S es beneficia de la variació de l'alçada per oferir un comportament dinàmic superior i més eficiència, a més a més de ofereix una alineació automàtica tant per la part davantera com per la posterior depenent de la càrrega i de la configuració de la bateria [52].



Figura 4.52: Sub-xassís del Model S amb les suspensions intel·ligents [52]

4.4.14. Suspensions intel·ligents d'aire del Tesla Model 3

Anomenada *Smart Air Suspension*, és la suspensió que serà opcional per al nou model de Tesla de cara al 2018, el Model 3 i es tracta d'una evolució de la suspensió esmentada anteriorment del Model S.

Aquesta suspensió oferirà la possibilitat de poder regular l'alçada del vehicle dinàmicament a través de la pantalla tàctil central, que està connectada a la centraleta del cotxe. A més, mitjançant la ubicació GPS del vehicle, Tesla recordarà el paràmetre de la suspensió intel·ligent seleccionat i tornarà a aplicar la configuració automàticament depenent de on es trobi el vehicle [53].



Figura 4.53: Sub-xassís del Model 3 amb les suspensions intel·ligents [53]

La resta de característiques són comuns amb les suspensions abans esmentades del Model S, ja que són una evolució d'aquestes.

4.4.15. Suspensions per a la plataforma CD de Ford

Ford va introduir al 2013 unes suspensions denominades *integral link suspension* per a tota la seva plataforma de vehicles, com el Mondeo a partir del 2014 en endavant.

Aquesta suspensió és considerada una de les suspensions més avançades (al 2013) que s'ha instal·lat en un vehicle de classe mitja, ja que és més usual en turismes de gama alta.

Tal i com es pot observar a la *Figura 4.54* la suspensió està composta principalment per un braç estabilitzador més baix que connecta el sub-xassís als dos pivots de la carrosseria mitjançant rodaments de bola i coixinets, la clau és instal·lar-ho en un angle més baix i més centrat amb el eix de les rodes per aconseguir un centre de gravetat més baix i evitar inèrcies no desitjades als girs. La suspensió consta també d'una molla metàl·lica, un amortidor i una barra estabilitzadora.

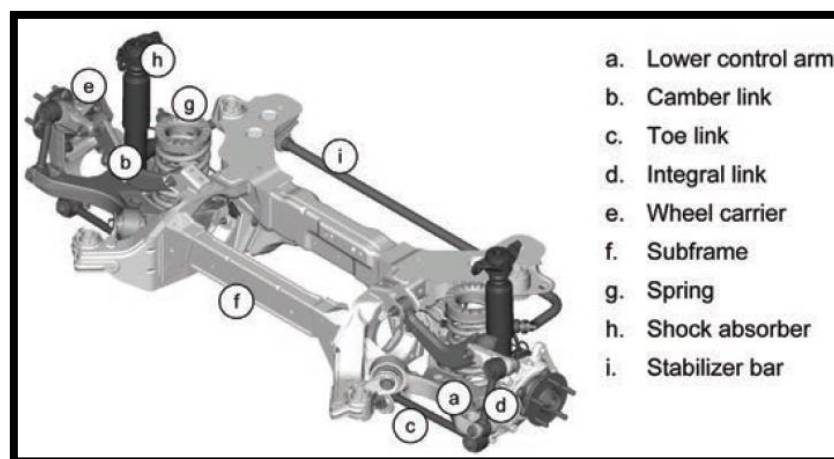


Figura 4.54: Components de la suspensió Integral Link de Ford [54]

Un aspecte important a desenvolupar és el confort de marxa i la duresa d'impacte. Impactes per imperfeccions viàries, com ara juntes d'expansió o ferm en mal estat. El comportament del vehicle en aquestes situacions en concret són els que Ford ha volgut desenvolupar.

Relacionat amb la duresa de l'impacte és l'anomenat efecte rebot, que és la resta d'oscil·lació del vehicle després del impacte. Aquesta oscil·lació ha de ser suprimida el més ràpidament possible pel conjunt de la suspensió. Això s'ha aconseguit mitigar

gràcies a variar els angles de treball de la suspensió respecte la roda i a la rigidesa i tipus de rodaments dels diferents elements de la suspensió. També, indirectament es pot millorar fent el centre de gravetat de la massa no suspesa més baix. Aquí pren avantatge el disseny d'aquesta suspensió.

Un altre tret destacat d'aquest tipus de suspensió en concret és que al tractar-se d'una suspensió pensada per a varis vehicles ha de permetre instal·lar-se en diferents vehicles amb unes característiques molt diferents i sobretot amb uns angles de treball de la suspensió molt diferents, i tot i així ha de complir amb la màxima de mitigar les vibracions de l'efecte rebot dels impactes de la suspensió. Doncs aquesta suspensió, gràcies al seu disseny adaptable, es pot fer variar el seu angle de treball tal i com es pot veure a la *Figura 4.55*.

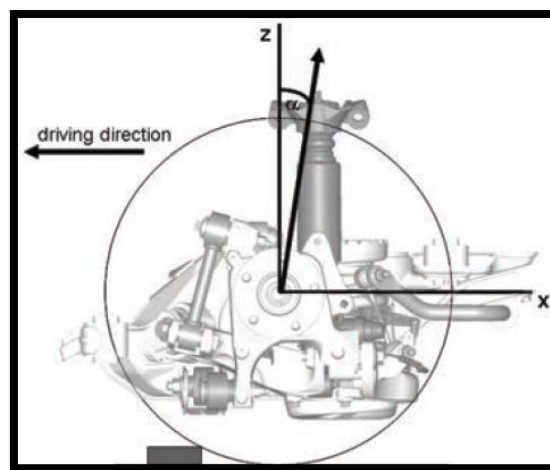


Figura 4.55: Suspensió amb disseny d'angle variable [54]

Amb tot això, Ford ha buscat complir amb uns requeriments concrets com la possibilitat de tenir un gran recorregut de l'amortidor per poder incorporar-ho a diferents classes de vehicles; també ha buscat tenir tot el pes del conjunt el més avall possible per tenir la major part de la massa lo més a prop del terra possible.

També és important tenir present que aquesta suspensió s'ha muntat en cotxes de tracció davantera en gran part, però és compatible amb vehicles de tracció integral, és un dels motius pels quals és molt compacte, per poder donar cabuda al diferencial del que compten els cotxes amb tracció integral.

Finalment s'ha hagut de donar compatibilitat a un disseny que permeti muntar rodes de diàmetres molt variats, com per exemple des de 16 polzades fins a 21. I això ha estat possible gràcies a la possibilitats de variar els angles de la suspensió, ja que es basa en una suspensió de doble trapezi molt personalitzada i adaptada a les necessitats de Ford [54].

4.4.16. Suspensions duals per al Ford Focus RS

El nou Ford Focus RS ha estat construït pensant en que els seus usuaris puguin anar al circuit amb el cotxe però també ha de mantenir un nivell de confort òptim com a cotxe de diari.

D'aquesta manera, tenint en ment aquesta dualitat d'ús, s'han modificat els braços de suspensió inferiors de la suspensió davantera per poder crear un canal d'aire directe als discs de fre per refrigerar-los en situacions extremes.

Els amortidors els proveeix el fabricant Tenneco, però per aquesta ocasió, s'usen els amortidors duals, oferint un mode dedicat per a circuit i un altre per a carretera i no tan extrems (de duresa i resposta) [55].

Per tant, han hagut de radicalitzar les seves suspensions, adaptant la forma dels components i els dos modes d'ús dels amortidors a dos modes totalment oposats de conduccions però que són els requerits pel perfil de client que compra aquest cotxe.

4.4.17. Suspensió magnetorrògica MagneRide

MagneRide és una suspensió adaptativa automotora amb un sistema d'amortidors magnetorològics desenvolupat per la corporació Delphi Automotive i actualment propietat de Beijing West Industries (BWI) que utilitza amortidors controlats magnèticament. A diferència dels sistemes tradicionals de suspensió, MagneRide no disposa de vàlvules mecàniques ni peces mòbils petites que es puguin utilitzar. Aquest sistema consta de quatre amortidors mono-tubs, un conjunt de sensors i una ECU per mantenir el sistema de suspensió interconnectat.

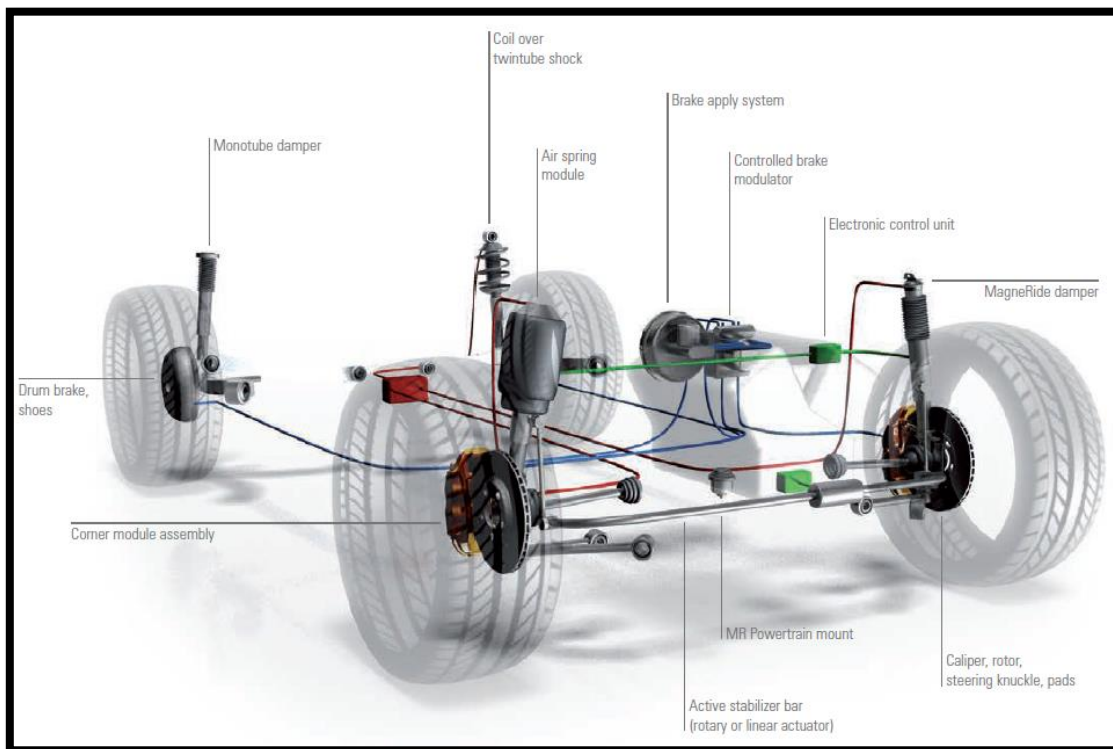


Figura 4.56: Esquema dels elements de la suspensió MagneRide [56]

Els amortidors s'omplen amb fluid magnetorològic, una barreja de partícules de ferro fàcilment magnetitzades en un oli d'hidrocarburs sintètic, on a cada un dels amortidors mono-tubs hi ha un pistó que conté dues bobines electromagnètiques i dos petits passos de fluid a través del pistó. Els imants electromagnètics són capaços de crear un camp magnètic variable a través dels passos del fluid. Quan els imants estan apagats, el fluid circula lliurement. No obstant això, quan els imants estan engegats fan que la viscositat del fluid s'incrementi donant lloc a una suspensió més rígida.

La versió actual de les suspensions MagneRide és la tercera generació. La primera generació va ser creada per Delphi Corporation i va debutar en el Cadillac Seville STS, on el pistó de dins d'aquests amortidors contenia només una única bobina electromagnètica.

Un avantatge addicional del sistema MagneRide enfront les electrovàlvules, és que està acompanyat d'un control electrònic més precís. La capacitat de càlcul i la programació superior permeten diferents reaccions segons la freqüència de vibració de la roda. D'aquesta manera, pot ser suau davant de moviments ràpids de la roda i dura en

moviments amplis de la carrosseria. De fet, la principal millora del sistema MagneRide en relació amb un sistema amb electrovàlvules està en el rang de vibracions entre 1 i 4 Hz, freqüència que implica una capacitat d'adaptació de la suspensió de 1000 vegades per segon [57].

Fent referència al amortidor MagneRide d'última generació, cal destacar que permet modificar les característiques tècniques de l'amortidor únicament variant certs paràmetres mitjançant *software*, de tal manera que permet adaptar a la perfecció els amortidors a diferents tipus de vehicles amb diferents propòsits i destinats a diferents plataformes automobilístiques.

Aquesta darrera característica ha propiciat una expansió total a molts fabricants de diferents tipus i categories de vehicles, com per exemple: Ferrari, Land Rover, BMW, etc...

Un dels principals canvis en la última versió és que s'ha introduït una segona bobina electromagnètica al pistó de cada amortidor, millorant la resposta d'apagada. Amb una sola bobina, hi havia un petit retard des de que la ECU donava la ordre fins que l'amortidor adquiria el camp magnètic ordenat. BWI ha reduït considerablement aquest retard amb el seu sistema de doble bobina. Les dues bobines són enrotllades en direccions oposades, provocant un sistema de suspensió més ràpid [58].

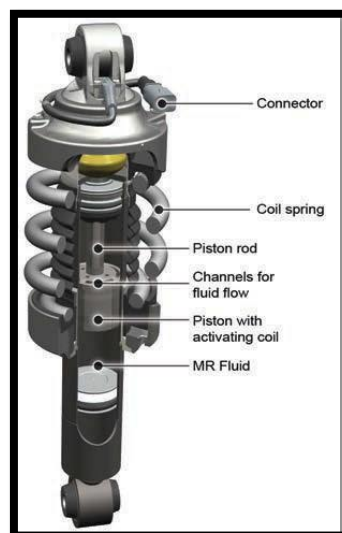


Figura 4.57: Amortidor MagneRide d'última generació [58]

També cal destacar que per als cotxes elèctrics s'ha optimitzat el seu consum elèctric, reduint el consum del conjunt del vehicle i poder ser més eficient, consumint actualment menys de 20W per amortidor [59].

4.4.18. Amortidor semi-actiu de nova generació

Yaswanth Siramdasu i Saied Taheri, del centre de recerca de pneumàtics de Virgina, han creat un nou tipus de suspensió semi-activa amb una configuració d'amortidors duals.

La proposta principal passa per substituir l'amortidor per un de dual o doble. D'aquesta manera durant un rebot o durant una compressió l'amortidor corresponent absorbeix part important de la irregularitat fent que l'altre amortidor només hagi de mitigar l'efecte restant del primer i que afecta a la massa no suspesa del cotxe¹¹ fent que quan arribi a la carrosseria del vehicle ja sigui pràcticament inapreciable l'efecte de la irregularitat del terreny.

Apart d'aquest principal benefici, també permet reduir molt les vibracions que es traslladen a la carrosseria del vehicle respecte una suspensió d'un sol amortidor.

A més, simplement variant la duresa o les característiques tècniques d'un dels dos amortidors fa variar completament el comportament de la suspensió, de tal manera que no cal cap centraleta electrònica controlant i variant els paràmetres, amb la qual cosa, fa abaratir i simplificar el cost de les suspensions.

¹¹ La massa no suspesa d'un vehicle està constituïda per la massa de l'amortidor, les rodes i altres components directament connectats a ells, com rodaments, pneumàtics i els frens del vehicle.



Figura 4.58: Amortidor semi-actiu dual del fabricant Bilstein [60]

Per aconseguir tals resultats, els enginyers del centre tècnic de recerca, han utilitzat un model matemàtic de simulació que inclou per primera vegada un tractament més en profunditat de com contacta el pneumàtic amb la carretera i com es comporten aquestes forces i vibracions amb les suspensions, i per tant, com s'ha de corregir per evitar traslladar tot aquest impacte a la carrosseria del vehicle i als ocupants.

Amb tot això han aconseguit uns valors molt propers als de una suspensió totalment activa, i a un cost molt més reduït, amb una més alta eficiència i també un manteniment més baix [60].

4.4.19. Suspensions actives controlades remotament

Bilstein està treballant en crear unes suspensions que es puguin ajustar en temps real mitjançant una aplicació del mòbil. És l'anomenada Bilstein iRC (*Intelligent Ridecontrol*). El control manual de l'amortidor és reemplaçat per un mòdul que té uns valors ja introduïts i que si l'usuari vol, pot entrar a un menú avançat que permet variar manualment els paràmetres de la suspensió en temps real. Per una millor i total immersió en el confort i sensacions de conduir a mesura que es va conduint i es va provant quines són les sensacions.

Aquest sistema ja s'està provant en un BMW M3 per en breus treure-ho al mercat com a opció als turismes d'alta gama.

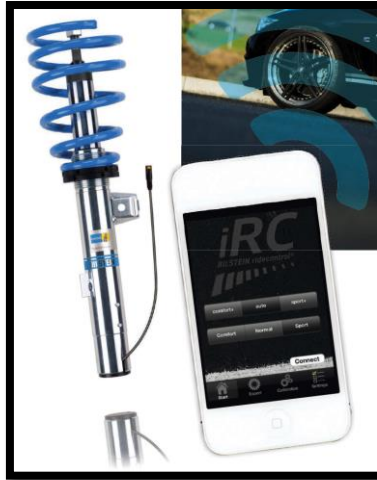


Figura 4.59: Suspensió Bilstein iRC amb la aplicació pel mòbil [61]

Com a punt important dins d'aquest tipus tan innovador de suspensió activa, cal fer esment que el fabricant KW Automotive, també està treballant en la seva suspensió controlable mitjançant aplicació pel mòbil.

El principi és el mateix, però amb això, el que es vol aconseguir és que l'usuari pugui fer els seus propis perfils de conducció totalment al seu gust, ja sigui per utilitzar-ho de manera més còmode per al dia a dia o per si algun dia vol anar a un circuit de competició. El mòdul i l'aplicació es comuniquen mitjançant una xarxa sense fil, permetent ajustar l'alçada del vehicle en temps real. Tot i que en aquest model, el mòdul de les suspensions i el dispositiu portàtil han d'estar en una distancia propera per poder estar emparellats i configurar-se.

Un exemple d'un sistema semblant, és el Koenigsegg One:1; que utilitza unes suspensions ajustables però com a elements innovador, la centraleta està connectada mitjançant 3G al núvol de la marca a on té carregada la cartografia de tots els circuits d'Europa i pot saber mitjançant localització a quina corba es troba el cotxe en temps real per ajustar les suspensions en cada corba de cada circuit.

En aquest cas, el fabricant darrera d'aquest sistema innovador és Öhlins [61].

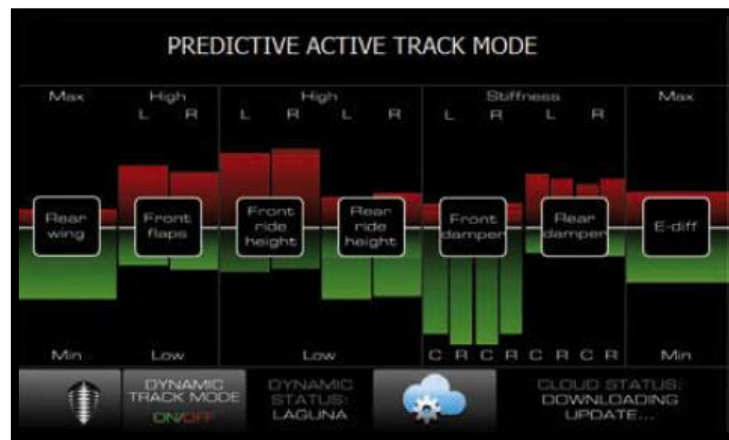


Figura 4.60: Pantalla del mode predictiu de circuit del Koenigsegg One:1 [61]

4.4.20. Amortidors passius més competitius

Segons Roman Bielak, cap de recerca de tecnologia de BWI Group, el repte amb els amortidors passius enfront a la gran expansió de les suspensions actives i semi-actives és fer que tinguin un clar avantatge econòmic, treballant, per exemple, en els materials que els constitueixen. És important per als fabricants per tenir un cost baix en el muntatge de les suspensions i fer transmetre al comprador una sensació més *premium* en quan a confort i conducció del vehicle.

Algunes de les millores incorporades passen per uns topalls hidràulics en els amortidors fent que es percebi un comportament molt més suau davant de les irregularitats i de grans cops secs a la suspensió del vehicle. I també amb la incorporació d'un topall de compressió del amortidor que li concedeix un recorregut més suau i uniforme durant tota la carrera de la suspensió.

L'idea d'aquest tipus de millora és que acabin muntant-se en vehicles de classe mitja d'estil berlina. A més, aquestes millores permeten que les vibracions es redueixin al màxim per poder treballar correctament en conjunt amb els cotxes elèctrics del present i futur [62].

4.4.21. Amortidors Bilstein de nous materials

TyssenKrupp Bilstein ha estat investigant per reduir el pes dels amortidors dels turismes, ja que al reduir el pes de l'amortidor, els components estructurals que aguanten el pes del conjunt també poden ser més lleugers per que a la vegada han de suportar menys pes, tot això sense comprometre la resistència del conjunt.

Bilstein ha construït el primer amortidor fet de CFRP en la major part. Tot i així, ha hagut de passar uns tests de resistència per confirmar que és adequat, com per exemple resistir pressions de 200bars i temperatures de treball de entre -40°C i 160°C .

Aquest amortidor aconsegueix ser un 33% més lleuger que el seu homòleg d'alumini (que pesa 557gr).

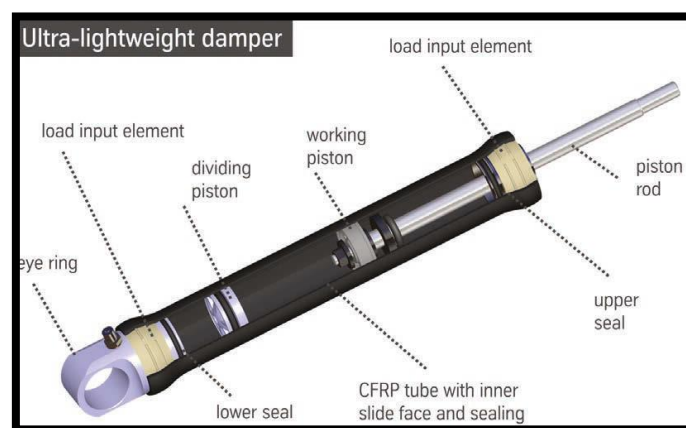


Figura 4.61: Amortidor de CFRP de Bilstein [63]

Entre altres millores també té l'avantatge que el seu coeficient de fricció és més baix, pel que certes peces no calen a l'assemblatge d'aquest amortidor. També és important destacar que és més estable enfront a diferències de temperatures dràstiques i en menys temps, més que l'alumini, que tendeix a dilatar-se i a contraure's més. També té una gran avantatge en el tema tèrmic, es tracta de que al ser més prim, pot transferir l'energia del treball de l'amortidor en calor residual més eficientment.

L'últim pas que volen aconseguir a Bilstein és poder substituir totalment els rodaments i altres components d'alumini per fibra de vidre per així, definitivament poder prescindir totalment de l'alumini.

De moment, els prototips ja porten fets des de 2013 uns 100.000km i encara es troben en fase de proves per treure conclusions i decidir el moment de sortir al mercat global [63].

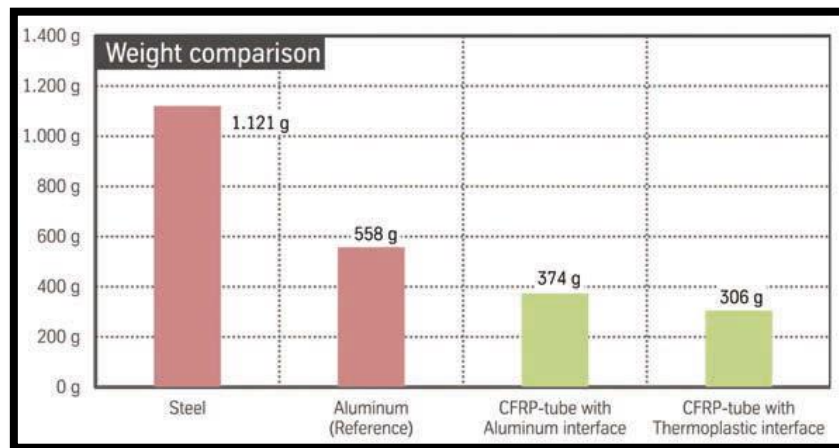


Figura 4.62: Gràfic amb el pes de cada tipus de amortidor [63]

4.4.22. Suspensió activa de 48V de Audi

Audi ha desenvolupat una suspensió totalment activa i electromecànica per al model A8 i utilitza l'estructura elèctrica de 48V dels nous vehicles micro-híbrids.

Cada roda és controlada individualment i s'adapta a les condicions de la carretera. Cada roda té un motor elèctric incorporat, alimentat pel sistema híbrid de 48V del vehicle.

Les suspensions tenen una configuració de multi-braç amb 5 connexions amb el xassís, fet que permet minimitzar les inèrcies i els balanceigs amb el pas per corbes o a les frenades i acceleracions.

En el cas d'un impacte lateral imminent a més de 25km/h, els actuadors de la suspensió alcen el costat del vehicle uns 80mm en mig segon, desviant la zona d'impacte a les zones laterals amb els reforços estructurals. Segons Audi, això redueix l'energia de l'impacte de la zona dels ocupants en un 50%.

El ECP (la plataforma del xassís electrònica) millora el confort de rodatge del vehicle, on una càmera a la part frontal del vehicle escaneja la superfície de la carretera de forats,

o ressalts en l'asfalt 18 vegades per segon, si la suspensió detecta quelcom irregular, configura les suspensions per abordar de manera més còmode i segura la irregularitat.

Els braços de suspensió estan fabricats de magnesi, que els fan un 28% més lleugers que els equivalents d'alumini. Aquests elements coexisteixen juntament amb altres elements de d'alumini.

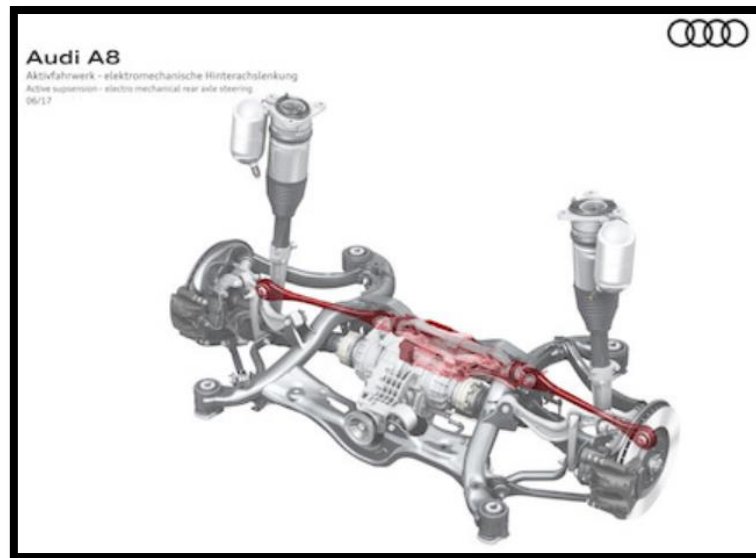


Figura 4.63: Eix posterior de la suspensió activa del A8 [64]

El sistema *pre-sense 360°* escaneja la carretera al voltant del vehicle i assisteix als controls del mateix a prevenir col·lisions. La suspensió activa incrementa la seguretat passiva amb l'ajuda de la xarxa de sensors manejada per la unitat de control central del vehicle que permet detectar possibles col·lisions al voltant de tot el turisme [64].

4.4.23. Suspensió multi-braç de Land Rover

La suspensió de multi-braç del nou Discovery Sport ofereix una nova arquitectura de muntatge que permet l'opció de tenir una fila addicional de seients gràcies al nou disseny molt més compacte que l'anterior. També permet una distància de recorregut de la roda de 60mm major que en l'anterior generació gràcies al nou disseny i muntatge dels braços connectors amb el xassís.

La suspensió fa ús de manera molt més abundant de l'alumini perforat que fa que l'estructura sigui inclús més rígida pesant menys.

La suspensió posterior està instal·lada damunt d'un sub-xassís d'alumini en comptes d'acer de l'anterior generació.

El sistema de suspensió compta amb un sistema de topalls hidràulics per evitar cops bruscs per a poder fer un ús més fora pistes o superar grans irregularitats de la carretera [65].

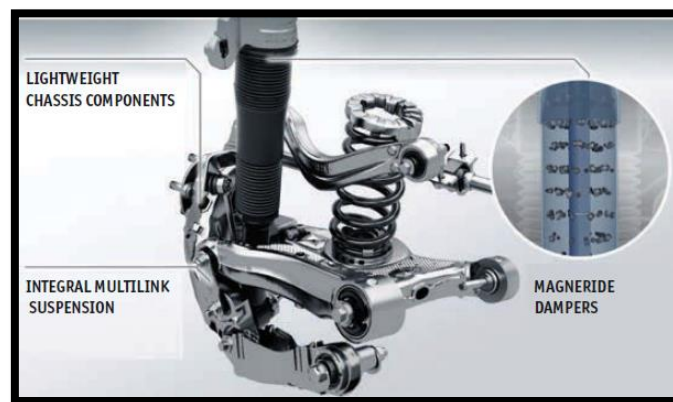


Figura 4.64: Suspensió posterior multi-braç del nou Discovery Sport [65]

4.4.24. Nous materials per als components de la suspensió

Magneti Marelli es troba treballant en la millora de peces de la suspensió com per exemple els braços de suspensió fets de composite, que estableix un preu més competitiu que no pas els fets de fibres de carboni que pot arribar a quintuplicar el preu respecte la mateixa peça d'acer, però té unes propietats immillorables respecte l'acer.



Figura 4.65: Braç de suspensió de Magneti Marelli de composite [66]

D'aquesta manera, el composite que està basat en components plàstics pot donar un gran pas endavant en el cost de fabricació i en les propietats finals de la peça [66].

Sogefi (un fabricant de molles helicoïdals i proveïdor per a moltes empreses de suspensions) ha introduït per altra banda la primera molla helicoïdal en ser de polímers de fibra de vidre reforçats, amb la qual obté una reducció del pes d'entre un 40% i un 70% respecte a d'acer, en el nou Audi A6/A6 Avant Ultra ja s'utilitza aquesta molla, però només en la suspensió posterior i l'estalvi total és de 4,4kg [67].

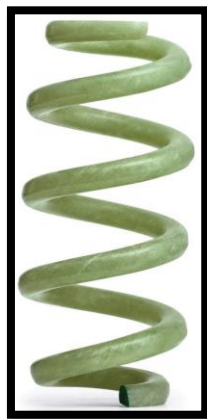


Figura 4.66: Molla helicoïdal de polímers de composite de Sogefi [67]

4.5. Components de la suspensió

En aquest apartat es fa una breu explicació dels diferents components que tenen les suspensions. S'ha de tenir en compte que no tots els tipus de suspensions estan formats pels mateixos components, per tant, aquí hi ha un recull dels principals components sense discrepar entre quins tipus de suspensions tenen o no cada component.

4.5.1. Ballestes

Les ballestes estan constituïdes per un conjunt de fulles o làmines d'acer, unides mitjançant unes subjeccions que permeten el lliscament entre les fulles quan aquestes

es deformen pel pes que suporten. La fulla superior, anomenada fulla mestra, va corbada en els seus extrems en els quals es munten uns topalls de bronze per al seu acoblament al suport del bastidor per mitjà d'uns pernns.

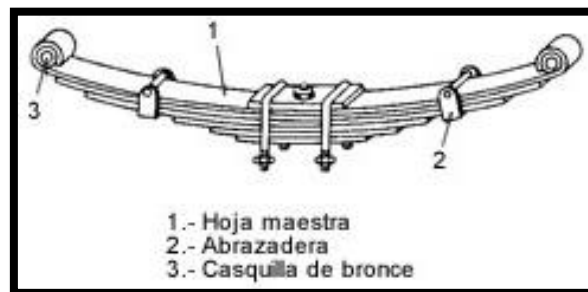


Figura 4.67: Components de la ballesta [68]

El nombre de fulles i l'espessor de les mateixes va en funció de la càrrega que han de suportar. Funcionen fent d'enllaç entre l'eix de les rodes i el bastidor.

4.5.2. Molles helicoidals

S'utilitzen en l'actualitat en quasi tots dels turismes en substitució de les ballestes, tenen l'avantatge d'aconseguir una molt bona elasticitat gràcies al gran recorregut del ressort sense ocupar quasi espai.

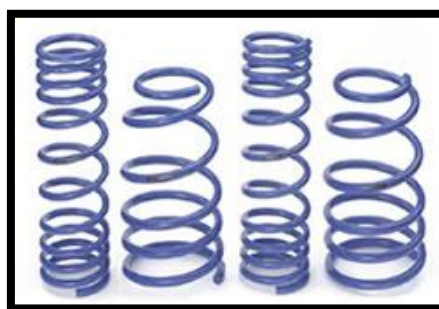


Figura 4.68: Tipus de molles helicoidals [68]

Consisteixen en un enrotllament helicoidal d'acer elàstic format amb un fil de diàmetre variable; aquest diàmetre varia en funció de la càrrega que tenen que suportar, les últimes espires són planes per facilitar l'apostament de la molla als suports.

No poden transferir esforços laterals, i requereixen, per tant, un muntatge de bieles d'empenyiment lateral i transversal per a la absorció de les reaccions de la roda. Treballen a torsió, acurtant la seva longitud i tornant a la seva posició de repòs quan l'efecte que produeix la deformació cessa.

La seva flexibilitat va en funció del número d'espores, el diàmetre del ressort, el pas entre les espores, l'espessor i les pròpies característiques del material. Es poden aconseguir diferents tipus de flexibilitat modificant aquests paràmetres.

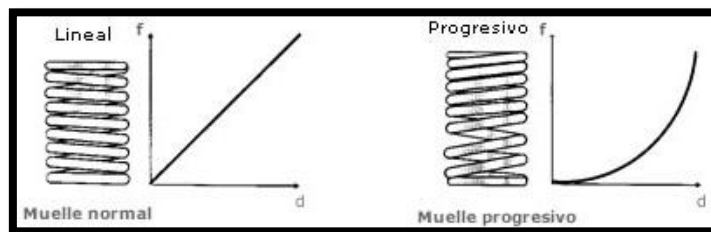


Figura 4.69: Corba característica de compressió [68]

4.5.3. Barres de torsió

Aquest tipus de ressort és utilitzat en alguns turismes amb suspensió independent, està basat en l'equilibri de forces en sòlids; si a una barra d'acer elàstic subjecta per un dels seus extrems se li aplica per l'altre un esforç de torsió, aquesta barra tendirà a retorçar-se, tornant a la seva forma primitiva per la seva elasticitat quan cessa l'esforç de torsió.

El muntatge d'aquestes barres sobre el vehicle es realitza fixant un dels seus extrems al xassís o carrosseria, de manera que no pugui girar en el seu suport, i en l'altre extrem es col·loca una palanca solidària a la barra, unida en el seu extrem lliure a l'eix de la roda. Quan aquesta pugi o baixi per efecte de les desigualtats del terreny, es produirà, en la barra, un esforç de torsió.

Les barres de torsió es poden disposar paral·lelament a l'eix longitudinal del bastidor o també transversalment al llarg del bastidor. En vehicles amb motor i tracció davanters es munten en disposició mixta: les barres de torsió situades longitudinalment per a la suspensió davantera i transversalment per a la suspensió posterior.

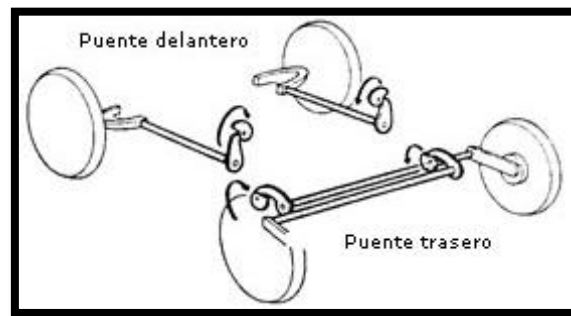


Figura 4.70: Muntatge mixt de barres de torsió [68]

4.5.4. Barres estabilizadores

Quan un vehicle pren una corba, per l'acció de la força centrífuga es carrega el pes del cotxe sobre les rodes exteriors, amb la qual cosa la carrosseria tendeix a inclinar-se cap a aquest costat amb perill de bolcada o de desestabilitzar el cotxe.

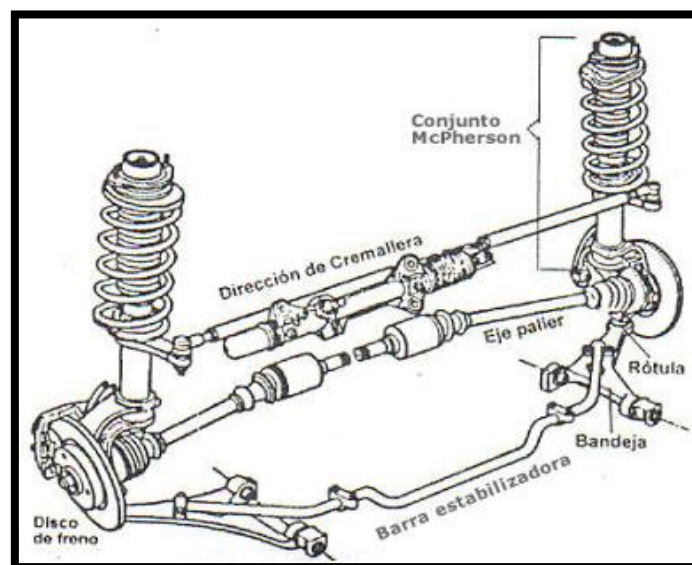


Figura 4.71: Conjunt MacPherson amb barra estabilizadora [68]

Per evitar aquests inconvenients es munten sobre els eixos davanter i posterior les barres estabilizadores, que consisteixen essencialment en una barra d'acer elàstic els extrems del qual es fixen als suports de suspensió de les rodes; d'aquesta forma, en prendre una corba, com que una de les rodes tendeix a baixar i l'altra a pujar, es crea

un parell de torsió en la barra que absorbeix l'esforç i s'oposa, impedit que la carrosseria s'inclini a un costat. El mateix efecte es produeix quan una de les rodes troba un sot o obstacle, creant, en baixar o pujar la roda, un parell de torsió en la barra que fa que la carrosseria es mantingui en posició horitzontal. En cas de circular en línia recta i en condicions del asfalt normals, l'acció de la barra és nul·la.

4.5.5. Silentblocks i coixinets elàstics

Són aïllants de cautxú o de material elastòmer variat que s'encarreguen d'esmortir les reaccions en els suports de la suspensió. Solen muntar-se a pressió o cargolats. La seva substitució ha de realitzar-se quan el cautxú estigui deteriorat o existeixi folgança en la unió.

De moment, els prototips ja porten fets des de 2013 uns 100.000km i encara es troben en fase de proves per treure conclusions i decidir el moment de sortir al mercat global [63].



Figura 4.72: Coixinets de les suspensions [69]

Els coixinets elàstics són element de cautxú que permeten la unió dels components de la suspensió facilitant un petit desplaçament. Aquests coixinets són molt utilitzats per al muntatge de les barres estabilitzadores.

4.5.6. Ròtules

Les ròtules són elements d'unió i fixació de la suspensió i de la direcció, que permet el seu gir mantenint la geometria de les rodes. La fixació de les ròtules es realitza mitjançant cargols roscats exteriors o interiors.

La seva substitució ha de realitzar-se si existeix en aquestes algun dany com per exemple, si aquesta deformatada a causa d'algun cop, o quan existeixen folgances.



Figura 4.73: Ròtula d'una suspensió [68]

4.5.7. Manegueta i dolla

La manegueta de la suspensió és una peça fabricada amb acer o aliatges que uneix la dolla de la roda i la roda als elements de la suspensió.

La manegueta es dissenya tenint en compte les característiques geomètriques del vehicle.

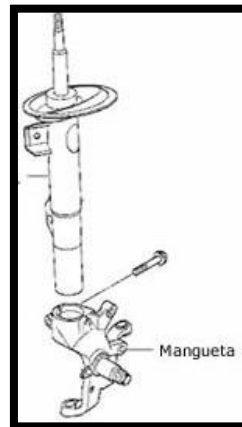


Figura 4.74: Conjunt molla-amortidor [68]

4.5.8. Trapezis o braços de suspensió

Són braços d'acer longitudinals o transversals situats entre la carrosseria i la manegueta o trapezi que serveixen com a subjecció d'aquests i faciliten el seu guiat. Absorbeixen els desplaçament i esforços dels elements de la suspensió a través dels coixinets elàstics muntats en els seus extrems.

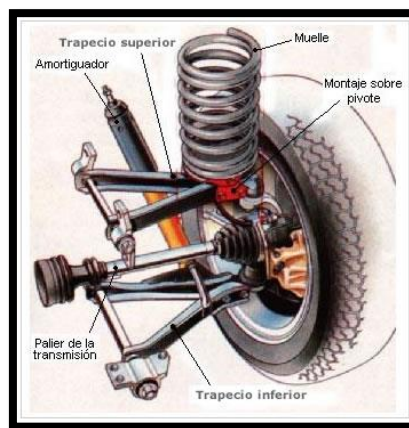


Figura 4.75: Suspensió de doble trapezi [68]

4.5.9. Topalls de suspensió

Els topalls poden ser elàstics o semi-rígidts en forma de tac. La seva funció és servir de protecció per al conjunt de la suspensió, de manera que en una compressió excessiva aquesta no es deté. El muntatge d'aquest element és molt divers depenent de la forma del tac. Per exemple, en les suspensions MacPherson es munta a l'interior de l'amortidor, mentre que en les suspensions per ballesta se sol muntar ancorat en la carrosseria.



Figura 4.76: Topall de suspensió posterior d'un Chevrolet Pick Up [70]

4.5.10. Amortidors

Aquests elements són els encarregats d'absorbir les vibracions dels elements elàstics, convertint en calor l'energia generada per les oscil·lacions.

Quan la roda troba un obstacle o sot, la molla es comprimeix o s'estira, recollint l'energia mecànica produïda pel xoc, energia que retorna a continuació, per efecte de la seva elasticitat, rebotant sobre la carrosseria. Aquest rebot en forma de vibració és el que ha de frenar l'amortidor, recollint, en primer lloc, l'efecte de compressió i després el de reacció de la molla, actuant de fre en tots dos sentits; per aquesta raó reben el nom dels amortidors de doble efecte.

Els amortidors poden ser fixos o regulables, els primers tenen sempre la mateixa duresa i els segon poden variar-la dins d'uns marges. En els models moderns aquest reglatge es pot fer des de l'interior del vehicle.

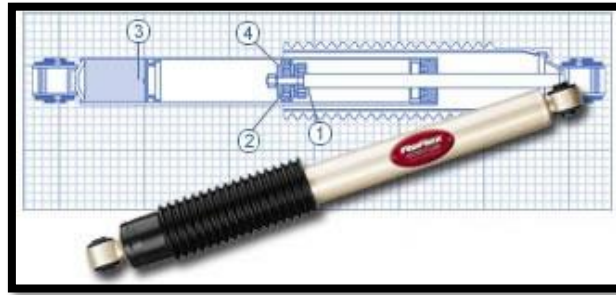


Figura 4.77: Amortidor estàndard [68]

Tipus d'amortidors:

Dins d'aquests podem distingir:

- Els amortidors hidràulics convencionals. Dins d'aquesta categoria podem trobar els fixos i els regulables.
- Els amortidors a gas. No regulables
- Els amortidors a gas. Regulables

Els més usats en l'actualitat són els de tipus telescòpic de funcionament hidràulic [68].



5. COMPARATIVA DE TIPUS DE SUSPENSIONS

En aquest capítol del treball es busca tractar els principals sistemes de suspensió des d'un punt de vista més comparatiu entre els diferents tipus. En aquest cas, es planteja amb una breu descripció del seu funcionament i centrant-se en les principals avantatges i inconvenients.

Només s'han tingut en compte els principals tipus de suspensió més extensos a dia d'avui. Descartant altres tipus de suspensions que o són minoritaris o estan obsolets.

Cal esmentar que hi ha dues comparatives amb dos tipus d'enfocament diferents per poder extreure una informació i unes característiques més concretes en funció de cadascun dels dos blocs comparatius que es plantegen.

5.1. Comparativa segons la geometria

Aquesta comparativa classifica els principals tipus de suspensió segons els elements que la formen, és a dir, tot el conjunt de la suspensió, com estan units entre ells amb el xassís o la roda del vehicle.

Es poden classificar en 3 grups; les suspensions rígides, semi-rígides i les independents. Aquesta classificació fa referència a la llibertat de moviment que té la roda respecte la seva homòloga del mateix eix; per exemple, quan una de les rodes rep un impacte produït per una imperfecció de la carretera i la manera com rep aquest impacte l'altre roda del mateix eix.

En funció de com sigui la connexió entre les dues rodes del mateix eix, determinarà a quin tipus de suspensió correspon.

5.1.1. Suspensions rígides

Es consideren suspensions rígides aquelles que les dues rodes del mateix eix van unides per un eix rígid, de tal manera que el moviment d'una roda afecta directament a l'altra roda.



Figura 5.1: Suspensió rígida [39]

El principal sistema de suspensió rígid és el sistema de suspensió de ballesta.

Suspensió de ballesta

- Avantatges:

Amb el fet de tenir una gran quantitat de capes de làmines de metall superposades, els ressorts de les fulles ofereixen una gran quantitat de suport entre les rodes, els eixos i el xassís del cotxe; de tal manera que poden suportar enormes càrregues verticals aplicades al cotxe a causa de la seva estructura estreta, això demostra com a dia d'avui s'utilitzen sobretot en vehicles pesats i alguns tot-terrenys.

Si la suspensió està sotmesa sota càrrega constantment i a grans esforços, el cotxe es mourà i rebotarà després de colpejar qualsevol forat a la carretera. Els ressorts de la ballesta aconseguixen un amortiment del vehicle més ràpid al ser varies plaques d'acer unides entre sí però separades, fent que el temps de resposta després d'una flexió vertical sigui molt més ràpida, permetent que en grans cops i en grans càrregues de pes, sigui molt més resistent i que duri més temps que no pas una molla o un amortidor.

La suspensió de ballesta té també com a principal avantatge que el seu manteniment és mínim, ja que només compten amb les fulles de la ballesta i els suports amb el xassís. Per tant, els components són senzills i resistents, al ser d'acer i no tenir juntes ni topalls de cautxú fa difícil que es puguin desgastar i trencar.

Igual que en el seu manteniment, el seu cost és el més baix de tots els tipus de suspensions que existeixen.

Al ser d'eix fixe, la suspensió de ballesta aconsegueix mantenir les rodes sempre paral·leles a la carretera en condicions normals.

- Inconvenients:

No permeten cap ajustament a diferents tipus de conducció ni terreny, ja que són fulles d'acer collades al xassís sense cap tipus d'ajustament per part de l'usuari més enllà de la duresa que el fabricant hagi considerat per muntar-les al cotxe. Aquesta manca d'adaptabilitat de les configuracions de les fulles es posa de relleu pel fet que els extrems de les molles de les fulles s'adjunten al xassís, cosa que deixa molt poc marge per a l'escurçament o l'allargament de les fulles d'acer.

Les fulles també permeten molt poques direccions de moviment i només estan dissenyades per moure's verticalment, mentre que una combinació de ressorts i amortidors es pot manipular en un rang de moviment molt més gran [71].

Al ser d'acer tenen una possible oxidació que altres tipus no tenen gràcies a poder usar diferents materials i no només l'acer. També val a dir que a l'estar varies capes de fulles d'acer juntes i a grans tensions, ocasionen un fregament constant que pot comprometre la seva vida útil i el confort en marxa, ja que generen soroll.

També és important que al ser d'eix rígid, fa que en el seu ús en altes velocitats el xassís es balancegi i cosa que descarta qualsevol tipus de conducció esportiva.

Col·laboren en l'augment de la massa no suspesa del cotxe, fent que tinguin moltes més inèrcies en la dinàmica de conducció i aquest fet es trasllada al tacte de la direcció del vehicle.

5.1.2. Suspensions semi-rígides

Els sistemes semi-rígid són molt semblants al sistema anterior, a diferència que aquests porten un braç addicional que permet reduir les vibracions i inclinacions que rep el cotxe. Amb la qual cosa l'aïllament de les oscil·lacions és relativament limitat.

Bàsicament, es componen d'unes molles ancorades a uns suports articulats, els quals van cargolats al diferencial i a una barra que creua tota la zona del pont, limitant així la seva independència. És un sistema comú que incorporen molts cotxes de carrer, en les seves versions bàsiques [72].



Figura 5.2: Suspensió semi-rígida [72]

Un dels principals tipus de suspensió així és la suspensió de barra de torsió.

Suspensió de barra de torsió

- Avantatges:

Els avantatges principals de la suspensió de barra de torsió són la durabilitat, el fàcil ajustament de l'alçada del cotxe. Ocupa molt poc espai interior del vehicle, per la qual cosa és un dels sistemes més compactes.

En la majoria de suspensions de barres de torsió, l'alçada del recorregut es pot canviar simplement ajustant els pernys que connecten les barres de torsió als mànecs de direcció.

És un sistema de gran durabilitat, per la qual cosa no requereix pràcticament cap tipus de manteniment.

Garanteix tant el control longitudinal com transversal del sub-xassís sense necessitat d'elements auxiliars.

Té capacitat d'estabilitzar el cotxe per que el propi eix de torsió actua com a barra anti-bolcada.

És un sistema de fàcil desenvolupament i per tant, té un preu final ajustat respecte altres tipus més complexes.

Permet una gran adaptació, fent-lo apte per tot tipus de vehicles petits i lleugers o inclús tot-terrenys de diferents dimensions.

- Inconvenients:

Un desavantatge és que les barres de torsió, a diferència de les molles helicoïdals, no solen proporcionar una velocitat de molla progressiva.

A l'estar connectades per un mateix eix i sense cap element més, la qualitat dinàmica del vehicle és més reduïda.

Limitada capacitat de gestionar els angles de caiguda i convergència de les rodes en els punts de suport ja que a l'estar connectada, els angles varien en cada moment i ho fan de manera conjunta per a les dues rodes del mateix eix.

No proporciona cap tipus de control adaptatiu sobre la suspensió, i per tant, al no ser independents del tot, les oscil·lacions es transmeten al xassís del vehicle, fent que no sigui apta per a cotxes molt pesats i de grans potències [28].

5.1.3. Suspensions independents

Les suspensions independents fan referència a aquelles suspensions que permeten el desplaçament vertical d'una roda sense que afecti a l'altra roda del mateix eix. Té un comportament oposat al desenvolupat per les suspensions rígides.

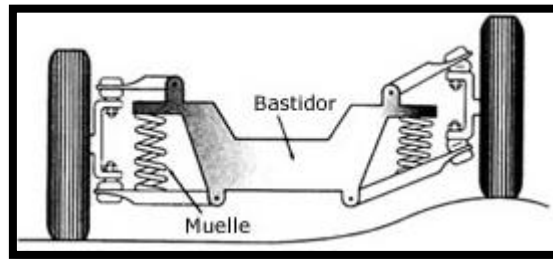


Figura 5.3: Suspensió independent [20]

Actualment, degut a les seves característiques, és l'únic sistema que s'utilitza en l'eix de les rodes directrius [24].

Suspensió de braços tirats o semi-tirats

- Avantatges:

No precisa d'estabilitzadores longitudinals degut al propi component longitudinal del braç de la suspensió.

Permet variar la caiguda i l'avanç de les rodes durant el funcionament del vehicle, cosa que permet millorar la seva estabilitat.

Bon comportament dinàmic en entorns urbans.

Permet una gran quantitat d'adaptacions estructurals diferents per a cada tipus de vehicle.

És un sistema bastant resistent degut als tipus de braços tirats que suporten les forces dinàmiques del vehicle.

És un sistema senzill i econòmicament força assumible.

- Inconvenients:

Al tenir les molles separades de l'amortidor, la gestió de les vibracions no és del tot eficient.

Sistema molt limitat per sí sol, actualment s'utilitza amb combinació amb elements estructurals de reforç per poder adaptar-se més a les necessitats dinàmiques i de

confort dels vehicles.

Dona lloc a inèrcies laterals degut a que en situacions de demanda els *silentblocks* s'aixafen i provoquen unes inèrcies al sortir de les corbes, per exemple, que fan modificar els angles de convergència de les rodes, fent perdre certa estabilitat al vehicle.

No permet variar la caiguda de les rodes manualment per corregir defectes o vicis de les rodes [20] [24] [72].

Suspensió MacPherson

- Avantatges:

Senzillesa de fabricació, manteniment molt baix i cost de producció baix.

Ocupa poc espai al vehicle, per la qual cosa es considera un sistema força compacte, ideal per motors transversals.

El vehicle té una menor massa suspesa degut al centre de gravetat molt baix del sistema.

Permet variar els angles de caiguda de les rodes.

- Inconvenients:

Necessitat de reforçar la carrosseria als punts d'ancoratge entre la suspensió i el xassís. És aquí on rep grans forces amb els impactes de les irregularitats del terreny.

Transmet directament el moviment de l'asfalt al xassís, el que provoca sorolls i vibracions a l'habitacle.

L'angle de moviment de la roda, no és vertical, sinó que degut a la configuració d'aquest tipus de suspensió, la roda descriu un angle que no és 100% tangent amb l'asfalt, de tal manera que s'ha de revisar i tenir en compte els angles de caiguda de les rodes [20] [24] [72].

Suspensió de doble trapezi

- Avantatges:

Proporciona un major grau de llibertat en l'ajustament dels paràmetres de les rodes amb la suspensió i el seu contacte amb el ferm.

Obté una càrrega bastant compensada en tota l'estructura d'elements de la suspensió, de tal manera que no cal reforçar cap part del xassis.

Proporciona caiguda negativa a les rodes durant tot el moviment de la suspensió, cosa que la fa bastant constant i ferma.

Ofereix una rigidesa i inclinació major que d'altres sistemes.

Model preferent en les competicions d'altres prestacions.

- Inconvenients:

Requereix més espai que d'altres sistemes.

Lleugerament més complexa que d'altres sistemes com el MacPherson.

Requereix un manteniment més elevat.

És un sistema força pesat.

Ofereix poques opcions de disseny per adaptar-se als diferents models i tipus de vehicles dels fabricants d'automòbils [24] [26] [72].

Suspensió de braços múltiples

- Avantatges:

Rep un topall de goma pensat per absorbir les vibracions i tenir un confort superior.

Tot i connectar el sistema de suspensió amb el xassis en els puntals dels amortidors, no necessita un especial reforç en aquests punts com en el cas de la suspensió MacPherson degut a la millor distribució de forces enfront als impactes de la suspensió.

Permet el perfecte ajustament dels angles de les rodes des dels puntals d'ancoratge dels amortidors, guanyant en confort de marxa.

És un sistema que permet configurar-se tant per ús esportiu com per un ús més de passeig, pot donar demanda als dos estils de conducció perfectament gràcies a la configuració i modificació de la geometria múltiple.

Permet moltíssimes variants en el disseny que s'adapten a cada configuració i estructura de cada model de vehicle dels fabricants.

Té una gran incidència al món de la competició automobilística.

- Inconvenients:

És necessita un mínim de 3 braços de connexió amb al xassís per considerar-se de braços múltiple, amb la qual cosa fa que el seu disseny sigui molt complexa.

Alt cost de producció.

És el disseny de suspensió que més espai necessita, cosa que limita molt el seu ús en certs tipus d'automòbils.

Poden aparèixer certs problemes de geometria en els instants de treball màxim del conjunt degut a la complexitat dels braços connectats i el poc espai disponible; fent que poguessin arribar a tocar les rodes amb algun braç o el propi braç amb algun altre element de la suspensió en situacions de treball màxim.

Té un manteniment força elevat degut a la major quantitat de coixinets, elements amortidors i ròtules que permeten el moviment en la suspensió [20] [30] [72].

5.1.4. Taula comparativa suspensions segons geometria

La taula següent representa un breu resum de les principals característiques de cada suspensió vistes en aquest capítol, on es posen en una mateixa taula els factors que interessa comparar de cada suspensió.

A la taula següent s'ha fet una classificació numèrica per quantificar de menys a més l'aspecte en qüestió de cada fila de la taula. Sent 1 el valor més petit o menys significatiu i 6 el valor més alt o més representatiu.

Taula 1: Comparativa suspensions segons geometria [45]

Paràmetres	Suspensió de ballestes	Suspensió de barres de torsió	Suspensió de braços tirats	Suspensió MacPherson	Suspensió de doble trapezi	Suspensió de braços múltiples
Complexitat estructural	1	2	3	4	5	6
Pes/Volum	1	2	4	3	5	6
Cost fabricació	1	2	3	4	5	6
Manteniment	1	2	3	4	5	6
Durabilitat	4	6	5	2	3	1
Confort de marxa	1	2	4	3	5	6
Dinàmica de marxa	1	2	3	4	5	6
Adaptabilitat	1	6	2	4	3	5
Maduresa comercial	6	5	4	3	2	1

5.2. Comparativa segons la tecnologia

Les suspensions es poden classificar també segons la seva tecnologia, és a dir, segons el sistema que les permet fer funcionar.

En aquest bloc comparatiu existeixen 4 grans tipus de suspensions que es poden

classificar en: suspensions passives, suspensions semi-actives, suspensions actives¹² i suspensions hidropneumàtiques, aquestes últimes poden ser semi-actives o actives, per tant, es tracten com a grup apart per que tenen un funcionament força diferenciat.

5.2.1. Suspensions passives

Les suspensions passives consisteixen principalment en un sistema mecànic de ressorts i amortidors. Ambdós components treballen en paral·lel i estan fixes entre l'estructura de suport de la roda i el xassís del vehicle.

La força de la molla i l'amortidor tenen les característiques mecàniques de funcionament ja prefixades pel fabricant o per la marca del vehicle per a cada model en concret. El gas o el fluid que es troba dins del amortidor i és qui fa la força enfront dels impactes.



Figura 5.4: Model de suspensió passiva [45]

- Avantatges:

Al no tenir elements electrònics i només basar-se en elements mecànics és simple i molt fiable.

¹² També correctament anomenades suspensions adaptatives, ja que el fet que siguin actives significa que elles mateixes poden adaptar-se i actuar activament en l'objectiu de reduir les interferències amb les irregularitats del ferm i millorar el comportament dinàmic del cotxe.

És un sistema molt compacte i ocupa molt poc espai en l'estructura total del vehicle.

És un sistema que pesa molt poc i, per tant, contribueix a reduir el pes total del vehicle.

Es tracta d'una tecnologia molt desenvolupada i molt madura, per la qual cosa el seu cost de fabricació és molt baix. I això implica que és un sistema molt fiable.

- Inconvenients:

Al ser un sistema de funcionament mecànic, no permet un bon comportament dinàmic i confort de manera simultània, ja que si es configura prioritant un estil de conducció afecta negativament als altres estils de conducció.

No permet modificar cap paràmetre de manera activa, és a dir, sense passar pel taller mecànic i tot i així, a vegades no es permet cap ajustament.

Depèn del tipus de vibracions que tingui el propi vehicle, es transmeten a les suspensions i no és capaç de reduir correctament aquestes vibracions a dins de l'habitacle, per tant, no té un bon grau de confort contra certs tipus de vibracions transmeses per les irregularitats del terreny o de les pròpies inèrcies del vehicle.

5.2.2. Suspensions semi-actives

Les suspensions semi-actives parteixen de la mateixa base dels sistemes passius però la principal variació és que alguns paràmetres de l'amortidor es poden variar activament canviant les característiques dinàmiques del amortidor, i per tant, de la suspensió del vehicle. És poden variar electrònicament des del ordinador d'a bord del vehicle.

S'aplica una corrent elèctric que passa per unes bobines que genera un camp magnètic, el fluid de l'amortidor és reactiu a aquest camp magnètic de tal manera que variant la densitat del fluid fa que variï la resposta de l'amortidor.

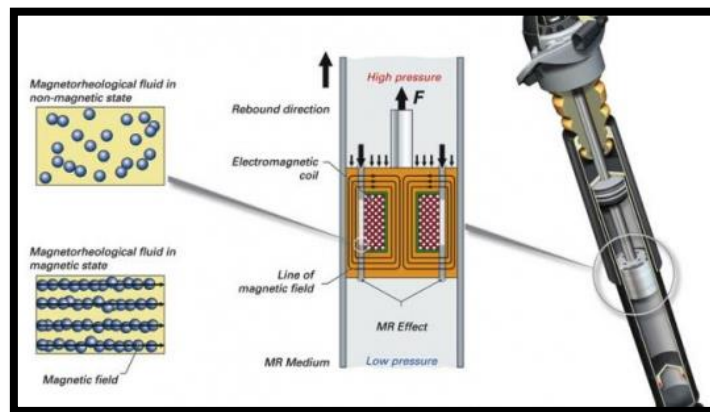


Figura 5.5: Suspensió semi-activa magnetorològica [45]

- Avantatges:

Permeten tenir un millor control de les característiques mecàniques de la suspensió, podent variar algun paràmetre en moviment i augmentar el dinamisme de la suspensió.

Les inèrcies del vehicle es redueixen considerablement.

El sistema de control dels paràmetres de l'amortidor és un sistema tecnològicament madur que permet que no sigui massa complex i per tant, sigui força fiable.

És un sistema força compacte. I a més és un tipus de suspensió que no pesa molt.

Té un cost de fabricació mitjà respecte d'altres sistemes.

- Inconvenients:

Al no permetre un control total dels aspectes de la suspensió, no permet corregir les inèrcies dinàmiques del vehicle ni alguns vicis del propi sistema de l'ús i el desgast.

5.2.3. Suspensions actives o adaptatives

Les suspensions actives són aquelles que incorporen un actuator que pot determinar i decidir la força activa de l'amortidor. I que està regulat per uns algorismes de control que utilitzen la informació recopilada dels sensors incorporats al vehicle.

Les molles proporcionen la càrrega estàtica suficient per fer que l'actuador controli les forces reactives dels amortidors enfront d'una irregularitat i pugui decidir les forces a aplicar i els seus paràmetres.

Les suspensions actives funcionen canviant constantment la sensibilitat dels amortidors en funció de l'estat de la carretera.

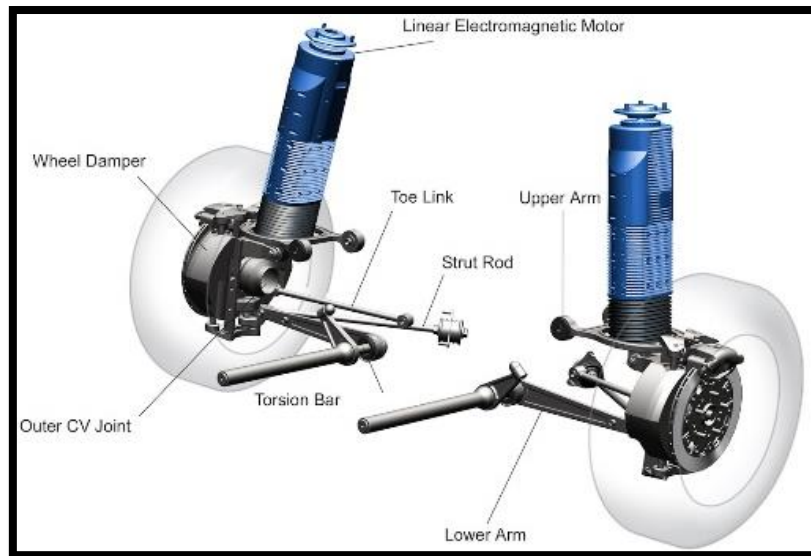


Figura 5.6: Suspensió activa electromagnètica [45]

En l'actualitat, al món de l'automoció existeixen dos tipus d'actuadors, els hidràulics i els electromagnètics, en aquesta comparativa se centra en destacar les virtuts i els defectes de les suspensions electromagnètiques, ja que és un tipus més recent de suspensió (tal i com s'ha pogut veure al apartat 4.4 d'aquest mateix treball) i és el camí que estan seguint els fabricants per desenvolupar les suspensions actives. També val a dir que el tipus de suspensions hidropneumàtiques ja es tractaran més en exclusivitat a continuació d'aquestes en l'apartat 5.2.4 d'aquest mateix treball.

- Avantatges:

La suspensió permet mantenir un control total dels elements del conjunt de la suspensió i per tant, concedeix un control molt precís de confort i de d'esportivitat quasi de manera immediata.

Permet modificar multitud de paràmetres de la suspensió i dels elements del conjunt

de la suspensió.

Estabilitat dinàmica molt superior i precisa, amb un confort de marxa molt avançat.

L'actuador compta amb un control de les forces que ha d'aplicar en cada instant de manera matemàtica molt precisa per fer front a les irregularitats de la carretera.

Possibilitat de recuperació de part de l'energia dels actuadors del sistema de suspensió mitjançant l'aprofitament de les inèrcies del vehicle i del seu propi moviment (com en les frenades).

Els actuadors treballen a freqüències molt altes, fent que la resposta del sistema de suspensió sigui de poques mil·lèsimes de segon.

Tot i tenir molts elements i molt complexes, l'estructura de l'amortidor és simple.

- Inconvenients:

Sistema de suspensió amb molts components i per tant, molt complex.

Sistema de suspensió amb un alt cos de fabricació degut a la poca maduresa que té al mercat automobilístic.

Sistema que ocupa molt volum entre tots els elements que té i necessita per funcionar.

Sistema molt pesat amb tot el conjunt d'elements que el componen i són necessaris per al seu funcionament [45].

5.2.4. Suspensions hidropneumàtiques

Les suspensions hidropneumàtiques són aquelles que utilitzen la pressió d'un fluid hidràulic i el nitrogen gas per exercir la força que controla el sistema fent que la diferència de pressions que hi ha entre aquests dos elements creïn la força reactiva als impactes de les suspensions amb la carretera.

Utilitza varies esferes, normalment una per roda, més una o dos extres per altres

sistemes auxiliars de la suspensió. Dins d'aquestes esferes, a la part superior hi ha contingut el gas nitrogen a 75bar de pressió i a la part inferior el líquid hidràulic, entre ells hi ha una membrana flexible i impermeable que separa les dues parts; llavors, la part inferior està connectada al sistema central de la suspensió fent que es comprimeixi enfront les irregularitats i per tant la resistència de compressió del nitrogen enfront a la del líquid és la força d'amortiment. Necessita un acumulador per mantenir el circuit bombejat i a una pressió mínima per poder circular amb el vehicle; apart de molts altres elements auxiliars del circuit hidràulic [32].

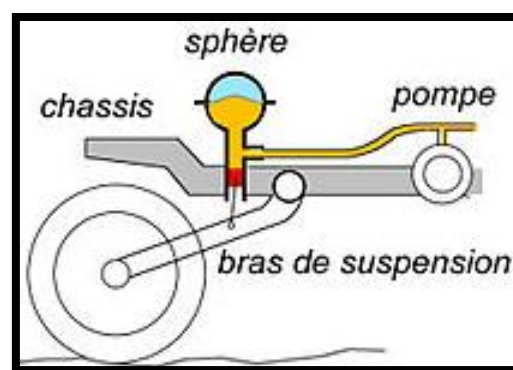


Figura 5.7: Esquema d'un quart del sistema de suspensió hidropneumàtic [32]

- Avantatges:

Confort de marxa superior a quasi qualsevol altre sistema del mercat.

Sistema regulador d'alçada del vehicle de manera automàtica en funció del pes del vehicle i també manual.

Control del balanceig de la carrosseria i la seva inclinació.

Control de la duresa de la suspensió de manera dinàmica.

Sistema integrat amb el sistema de frens i direcció que permet una millor resposta d'aquests dos sistemes al aprofitar les avantatges del sistema hidràulic de la suspensió.

Sistema molt fiable en trencar-se degut a la maduresa que té amb els anys que fa que es va inventar.

- Inconvenients:

Sistema molt complex i amb molts elements. Cost de fabricació alt com a conseqüència.

Reparacions només a tallers autoritzats, a més de ser reparacions complexes i cares.

Els frens i la direcció estan connectats al sistema de la suspensió fent que si falla el sistema central de la suspensió també afecti a aquests dos elements i pugui ser molt perillós.

Sistema de suspensió amb una fiabilitat baixa en petits problemes de desgast i ús que fan augmentar molt el cost de manteniment.

Necessitat d'utilitzar un oli especial i exclusiu per al circuit hidràulic [73].

5.2.5. Taula comparativa suspensions segons tecnologia

La taula següent representa un breu resum de les principals característiques de cada suspensió vistes en aquest capítol, on es posen en una mateixa taula els factors que interessa comparar de cada suspensió.

A la taula següent s'ha fet una classificació numèrica per quantificar de menys a més l'aspecte en qüestió de cada fila de la taula. Sent 1 el valor més petit o menys significatiu i 4 el valor més alt o més representatiu.

Taula 2: Comparativa suspensions segons tecnologia [45]

Paràmetres	Suspensió passiva	Suspensió semi-activa	Suspensió activa	Suspensió hidropneumàtica
Complexitat estructural	1	2	3	4
Pes/Volum	1	2	4	3
Cost fabricació	1	2	4	3
Manteniment	1	2	3	4
Durabilitat	4	3	2	1
Confort de marxa	1	2	3	4
Dinàmica de marxa	1	3	4	2
Adaptabilitat	1	3	4	2
Maduresa comercial	4	2	1	3

6. MANTENIMENT I ÚS DE LES SUSPENSIONS

En aquesta part del treball es busca mostrar les diferències i les similituds entre la part més teòrica de la història dels sistemes de suspensió i les seves principals característiques, vistes anteriorment en el treball, i comparar-ho amb les opinions de persones expertes en el tema, tant de l'àmbit laboral com personal.

D'aquesta manera, es vol comprovar si les empreses i les innovacions de l'indústria de l'automòbil innoven i corregeixen febleses amb els mateixos criteris que els usuaris i els professionals demanden. També és important comprovar com han canviat les tendències i la percepció dels experts en relació amb la evolució de les suspensions al llarg dels últims anys.

Al final d'aquest capítol, es fa referència als factors que influeixen els resultats vists al treball de camp i per què són tan importants.

També es pot trobar a l'Annex del treball totes les preguntes de l'enquesta així com totes les respostes de cada persona.

6.1. Treball de camp

S'ha decidit seleccionar aquelles preguntes que s'han obtingut uns resultats més rellevants amb els que poder analitzar les respostes i veure quina incidència tenen i quin anàlisi se'n pot fer respecte la informació teòrica prèvia d'aquest treball.

L'enquesta s'ha fet en castellà per poder arribar fins a més persones i d'aquesta manera, augmentar el perfil de persona que està qualificada per poder resoldre totes les preguntes. L'enquesta s'ha fet utilitzant la plataforma de *Google forms*, i s'ha posat a diverses plataformes d'internet, com Facebook i Twitter, a la pàgina de "VPE Seguridad Vial" que té lectors i seguidors de tot el món i sobretot de Amèrica Central i del Sud.

S'han obtingut un total de 17 respostes en l'enquesta i s'ha mantinguda oberta durant 1 mes sencer.

6.1.1. Anàlisi pregunta 4

La pregunta 4 és tal que: “Por parte de los propietarios, ¿Se hace un mejor/mayor mantenimiento de las suspensiones que tiempo atrás?”

S'han obtingut els següents resultats:

Taula 3: Resultats pregunta 4 de l'enquesta

No	14
Si	3

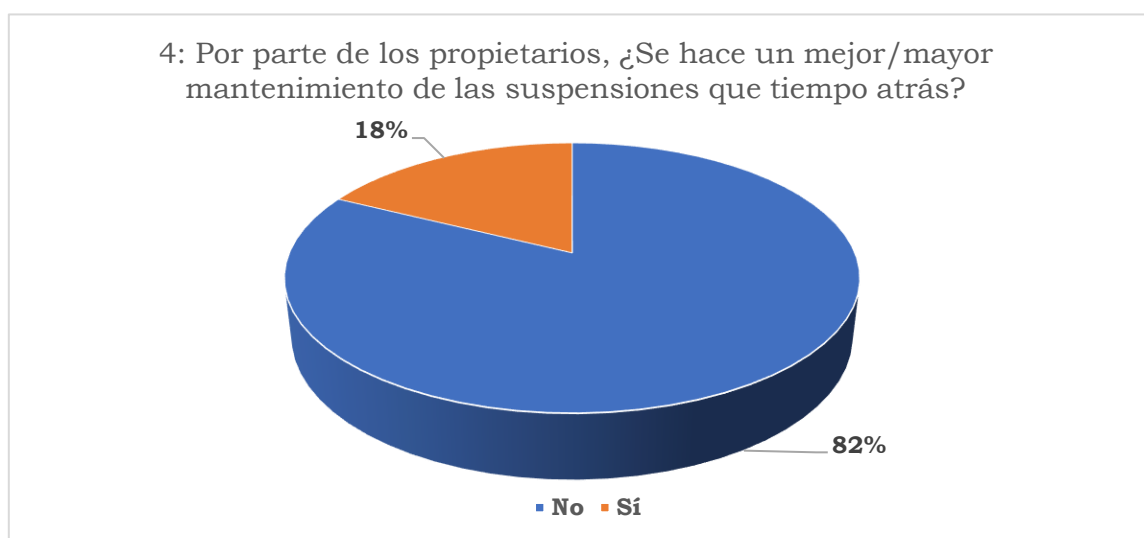


Figura 6.1: Resultats percentuals de la pregunta 4

Es pot observar com el “No” predomina clarament amb una proporció molt majoritària. Això significa que els conductors en l'actualitat fan menys manteniment de les suspensions que anys enrere. La qual cosa pot significar dues coses, tenint en compte la part històrica que s'ha comentat anteriorment en aquest treball.

Al fer un menor manteniment, als conductors no els hi cal invertir diners en tenir el sistema de suspensió en correcte funcionament ja sigui per que s'espantlen menys que abans o per que hi ha un major desconeixement en aquest tema per part dels usuaris. Val a dir que, detectar una manca de manteniment en un sistema de suspensió és fàcil a nivell d'usuari per que el vehicle durant la conducció genera sorolls audibles i

vibracions fàcilment detectables pels ocupants del vehicle. Amb l'ajuda de l'accés a la informació en línia de manera quasi immediata, es pot deduir que si hi ha un menor manteniment no és per falta d'informació ni per desconeixement, sinó per que els nous sistemes de suspensions requereixen menys manteniment.

Aquest fet corrobora la informació del capítol 4.4 i 4.5 d'aquest mateix treball, on es fa un recull dels últims avenços en tecnologia en el camp de les suspensions i també on es veuen quins són els punts forts i febles. De tal manera que durant els últims anys i amb les suspensions més modernes, es busca més fiabilitat i per tant, s'aconsegueix més durabilitat, amb la qual cosa no fa falta una intervenció tan activa per part dels propietaris dels vehicles per mantenir la suspensió en el seu òptim punt de funcionament.

6.1.2. Anàlisi pregunta 7

La pregunta 7 és tal que: “¿Qué tipo de suspensión consideras el más complejo?”

S'han obtingut els següents resultats:

Taula 4: Resultats pregunta 7 de l'enquesta

Suspensión de barras de torsión	2
Suspensión de brazos múltiples	2
Suspensión hidroneumática	12
Suspensión MacPherson	1

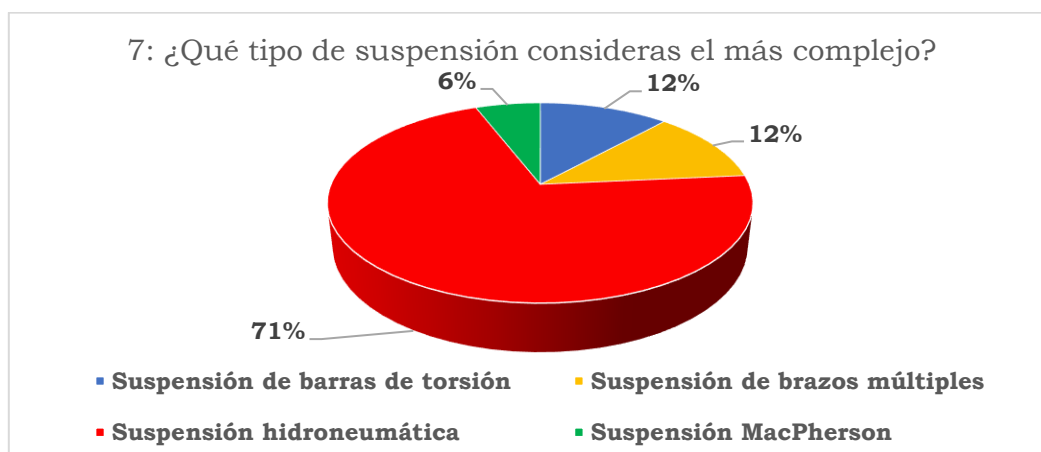


Figura 6.2: Resultats percentuals de la pregunta 7

Tal i com es pot comprovar en els resultats obtinguts, gran part dels experts coincideixen que la suspensió hidropneumàtica és la més complexa. Aquest fet encaixa perfectament amb el vist anteriorment en el treball on es descriuen les parts que intervenen en la composició total d'aquest tipus de suspensió i ja s'ha vist que compta amb molts més elements que altres sistemes més convencionals; entre altres, el fet de treballar amb un líquid que circula per conductes a través del vehicle, fent que el material de fabricació dels propis conductes, com les vibracions del motor i del vehicle faci que amb el pas del temps sigui molt probable tenir fuites.

Aquests resultats encaixen totalment amb el fet que, per exemple, la suspensió hidractiva de Citroën hagi desaparegut recentment per culpa de la seva complexitat, tant d'ús com de manteniment.

També hi ha un petit percentatge de persones que consideren que la suspensió de braços múltiples i la de barra de torsió poden ser també complexes. Això es deu a que la suspensió de braços múltiples és força més complexa que la de doble trapezi, tal com es pot veure a la *taula 1* del capítol 5, on teòricament és la més complexa de les que apareixen a la comparativa. Per aquest mateix motiu i pel seu alt cost associat, no es troba a gaires turismes.

Hi ha un 12% dels enquestats que consideren que les barres de torsió poden ser igual de complexes que les de braços múltiples, això, a nivell teòric és difícil de justificar, ja que els sistemes de suspensions de barres de torsió són els més usats en cotxes petits i barats, pel seu baix cost i la seva senzillesa de muntatge i manteniment. Tal i com es

pot veure a la *Taula 1* del capítol 5, no tindria gaire sentit aquest resultat o en tot cas, no és prou rellevant com per veure una tendència clarament contrària a la vista a nivell més teòric en apartats anteriors del treball.

Per al 6% de representació succeeix el mateix; és cert que la suspensió MacPherson no és de les més senzilles de les que es pregunten a l'enquesta, però no és un % prou rellevant com per afirmar que la teoria és incorrecta i es pugui considerar un sistema dels més complexos, o que destaquï per la seva complexitat enfront d'altres.

6.1.3. Anàlisi pregunta 8

La pregunta 8 és tal que: “¿Qué tipo de suspensión consideres que es la más fiable?”

S'han obtingut els següents resultats:

Taula 5: Resultats pregunta 8 de l'enquesta

Suspensión de ballestas	4
Suspensión de barras de torsión	1
Suspensión de doble trapecio	1
Suspensión hidroneumática	2
Suspensión MacPherson	9

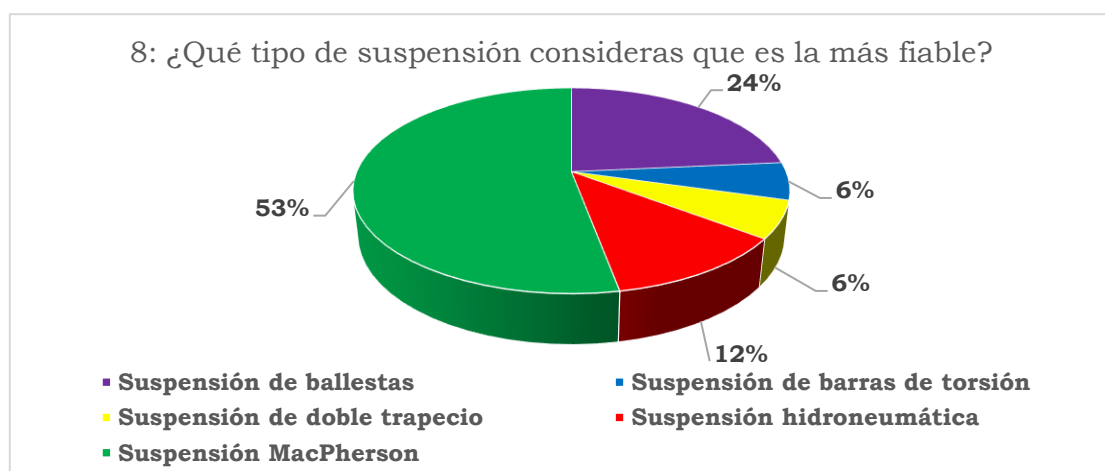


Figura 6.3: Resultats percentuals de la pregunta 8

Es pot observar com més de la meitat dels enquestats opinen que la suspensió MacPherson és el sistema de suspensió més fiable. Juntament amb la suspensió de ballestes amb un 24%.

Tal com s'ha vist anteriorment al capítol 5, els sistemes amb un menor manteniment i una major durabilitat (valors que conjuntament s'entenen com a fiabilitat); seria la suspensió de barra de torsió la que compta amb un manteniment prou baix i una durabilitat prou alta, seguida de la suspensió de ballestes, amb una durabilitat també bastant alta i un manteniment mínim. A diferència de la suspensió MacPherson que té un manteniment més alt i una durabilitat més baixa en comparació amb les dues anteriors. Amb això de precedent, es poden extreure vàries conclusions.

Primerament comentar que tot i que teòricament la suspensió MacPherson no sigui la més fiable, el fet de ser la que més cotxes porten a dia d'avui, i juntament amb els resultats de l'enquesta fa pensar que realment és més fiable del que comparativament amb les altres pugui semblar.

També és important destacar com les suspensions de ballestes, tot i ser un tipus de suspensió en desús, no s'hi ha convertit per la seva falta de fiabilitat, sinó per les seves pobres capacitats dinàmiques, ja que compta amb un % força important en les respostes.

Finalment, el 12% del sistema de suspensió hidropneumàtic no té massa sentit al ser un sistema que tal i com estava concebut, ha hagut de desaparèixer com a tal per la seva complexitat i la baixa fiabilitat. Tot i que aquest resultat podria explicar com alguns dels turismes d'alta gama més moderns amb suspensions adaptatives utilitzen les suspensions d'aire, que són una evolució de les antigues hidràuliques, però tot i així, no és rellevant.

Finalment veure com un dels sistemes aparentment més fiables com el de barres de torsió, obté un % petit, tenint en compte que un dels seus punts forts i motiu de la seva gran adopció en turismes actuals, és la seva fiabilitat. Per tant, es podria dir que comparant els valors teòrics amb els del treball de camp, la suspensió MacPherson ha obtingut uns resultats superiors als que a nivell teòric pronostica, donant sentit al força protagonisme que ha aconseguit per als fabricants, per sobre de la suspensió de barres de torsió.

6.1.4. Anàlisi pregunta 9

La pregunta 9 és tal que: “Cuáles consideres que son las 2 averías más habituales en un sistema de suspensión de un vehículo?”

S'han obtingut els següents resultats:

Taula 6: Resultats pregunta 9 de l'enquesta

Rótulas y <i>silentblocks</i>
Pérdida aceite y copelas
Pérdida aceite y rotura vástago
<i>Silentblocks</i>
Desgaste capacidad amortiguador y copelas
Pérdida aceite y copelas
Pérdida aceite y desalineado
Problemas eléctricos
Pérdida aceite
Rótulas y copelas
Desgaste capacidad amortiguador y pérdida aceite
Rótulas y <i>silentblocks</i>
Pérdidas aceite y rótulas
Pérdida aceite
<i>Silentblocks</i> y trapecios

Es pot veure clarament com hi ha varies averies que destaquen i són repetitives en quasi tots els enquestats:

Les ròtules i els *silentblocks*, degut al seu desgast constant i exposició a les temperatures i vibracions. A l'estar fabricades de cautxú dur, tenen una vida útil més limitada que altres elements fabricats de metall i que no són flexibles i van més protegits de la pols i els elements externs.

La pèrdua d'oli del amortidor i per tant, de la seva capacitat d'absorbir impactes, és una

averia quasi unànime també, això és degut a que els amortidors no són peces massisses com altres parts del sistema de suspensió, i per tant, per al seu moviment, consten de líquids per a funcionar, ja siguin gasos o olis. Amb els quilòmetres, amb cada sotrac de la carretera, i sobretot amb elements com els les bandes rugoses o reductores de velocitat, fa que perdin estanqueïtat pels retens (que són elements de goma i cautxú) i acabin perdent líquid.

Cal destacar que són averies molt freqüents per dos motius principals, ja que els *silentblocks* i les ròtules, són elements que si estan en mal estat, el conductor ho nota amb el maneig del cotxe, així com amb la pèrdua de líquids del amortidor. A més a més, són elements que es miren en les revisions de seguretat de les ITV, que són obligatòries.

6.1.5. Anàlisi pregunta 10

La pregunta 10 consta de dues parts, la segona depèn directament de la primera i és conseqüència directa d'aquesta.

La primera part de la pregunta 10 és tal que: “¿Conoces alguna diferencia entre las suspensiones de un vehículo eléctrico y las de uno de combustión convencional?”

S'han obtingut els següents resultats:

Taula 7: Resultats pregunta 10 de l'enquesta

No	15
Si	2

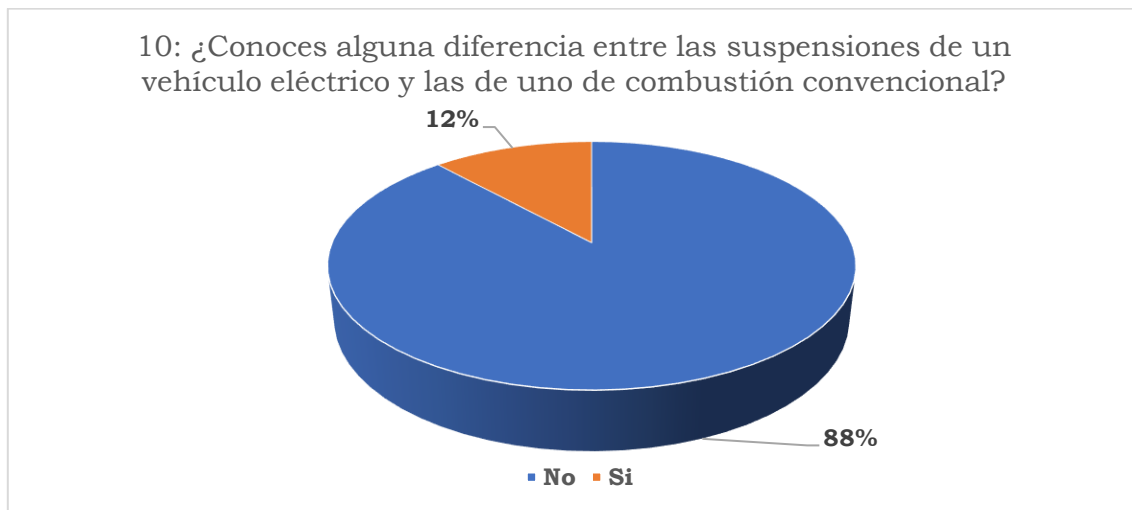


Figura 6.4: Resultats percentuals de la pregunta 10

Es pot observar com quasi per unanimitat, els enquestats (la majoria professionals) desconeixen si existeix alguna diferència entre el sistema de suspensió d'un vehicle elèctric del d'un de combustió convencional.

Això és degut a que els vehicles completament elèctrics que hi ha en l'actualitat, són molt recents, per la qual cosa encara són prou nous com per no presentar problemes de desgast o d'ús com per que hagin d'anar al taller. Això demostra que tot i ser un tipus de vehicle que ja està en circulació, no hi ha una preparació dels tallers i dels experts del sector en la realització del seu manteniment.

Aquests resultats plantegen una incertesa, i és que s'està apostant molt pels vehicles elèctrics però encara no se sap quin serà el seu desgast i manteniment a llarg termini.

En la segona part de la pregunta es demana que si la resposta a la primera part és afirmativa, quina o quines són aquestes diferències. Amb la qual cosa només tenim dues respostes que corresponen a les dues afirmacions de la primera part:

- "Más reforzados por tema peso baterías".
- "Tarajes amortiguador para compensar peso baterías".

Les dues úniques persones que han sabut respondre aquesta pregunta han coincidit en que el pes de les bateries dels vehicles 100% elèctrics, té un paper important en el sistema de suspensió, ja que al pesar més el cotxe i sobretot, al estar les bateries

repartides per tot el vehicle (i no com als vehicles de combustió on gran part del pes està a la part frontal que és on hi ha el motor) juga un paper fonamental en la configuració de les suspensions per a cada eix del turisme. Amb la qual cosa, s'ha de fer especial èmfasi en el reforç dels elements estructurals de la suspensió així com en les pressions de treball dels amortidors.

6.1.6. Comentaris opcionals de l'enquesta

L'enquesta té una pregunta opcional al final en la que l'enquestat pot comentar o afegir alguna informació rellevant sobre el tema de les suspensions dels vehicles que no s'hagi comentat abans.

Com a comentaris opcionals s'han obtingut:

- “Una buena suspensión en buen estado junto con unos buenos neumáticos evitarían un buen alto porcentaje de accidentes de tráfico. Su mantenimiento es muy importante para una buena seguridad activa “.
- “La electrónica dificulta mucho la reparación “.

Amb aquestes respostes es pot destacar que un bon manteniment dels elements com la suspensió juntament amb els pneumàtics és molt important de cara a la seguretat en marxa del vehicle. Amb la qual cosa demostra que la suspensió pertany a la categoria d'elements del cotxe que influeixen en la seguretat dinàmica i vial.

Finalment es pot afegir que tot i només tenir dues respostes, van ser varis els que van respondre que amb la incorporació de l'electrònica de manera massiva als vehicles, fa que sigui molt més difícil de reparar els elements de la suspensió, al comptar amb molts més elements com els sensors i el cablejat que recorre tot el cotxe de punta a punta de manera interna.

Conclusió final:

En general, els enquestats van trobar l'enquesta prou completa i sobretot van voler destacar el caràcter tècnic d'ella de tal manera que si no en saps prou d'aquest tema és difícil respondre la totalitat de les preguntes. A més van destacar, el caràcter històric de

la primera part de l'enquesta, on es denota clarament el context evolutiu de les suspensions al llarg dels anys i com han canviat les tendències.

6.2. Factors d'ús i manteniment en les suspensions

En relació a les respostes vistes en les enquestes de l'apartat 6.1 del treball es pot dir que els resultats de les enquestes i el bon funcionament dels sistemes de suspensions depenen de varis factors clau, que són condicionants directes del seu ús i manteniment.

Hi ha 3 factors principals que cal destacar.

6.2.1. L'usuari

L'usuari és un dels 3 principals factors que afecten als sistemes de suspensió, ja que cada usuari i/o conductor, pot fer variar totalment la durabilitat i l'estat de conservació de les suspensions i dels seus components.

Les suspensions es veuen afectades pel tipus de conducció que exerceix el conductor sobre el vehicle; de manera que si l'usuari fa una conducció més suau a les corbes, és a dir, que no fa els revolts girant bruscament, té un control del pedal del fre i de l'accelerador més suau; incideix directament en el desgast dels elements de la suspensió. Per exemple en els coixinets i les ròtules, que hauran de suportar menys acceleracions i frenades fent que el pes del vehicle oscil·li menys i tingui menys inèrcies, sabent que al ser elements de cautxú, no tindran tant desgast.

Així com els amortidors; amb les frenades, les accelerades i els girs bruscs, el pes del vehicle tendeix a moure's més inestablement fent que els amortidors suportin unes càrregues més fortes i més uniformes, fent que augmentin les probabilitats de pèrdues d'estanquitat.

6.2.2. L'entorn

L'entorn és un factor clarament determinant en el bon funcionament del sistema de suspensió. L'estat del ferm és un factor decisiu; per exemple, quan la majoria de carreteres encara no estaven asfaltades i/o els carrers d'algunes ciutats o pobles tampoc, el ferm era de terra, i per tant, era molt més irregular i s'erosionava molt més, amb la qual cosa, circular a igual velocitat que avui dia era molt més exigent pels sistemes de suspensió que ara amb l'asfalt.

Igualment també influència dràsticament l'estat de les carreteres, ja que si presenta imperfeccions prou considerables, el sistema de suspensió no pot absorbir tals desperfectes de la carretera o carrer i superen el llindar de treball òptim i es poden crear danys irreversibles en els components de la suspensió.



Figura 6.5: Asfalt enfonsat i amb reparació pitjor posterior [74]



Figura 6.6: Tros d'asfalt arrancat i aixafat al voltant [74]



Figura 6.7: Tapa de clavegueram mal instal·lada amb el paviment [74]



Figura 6.8: Desperfecte agressiu després d'una obra sense arreglar [74]

A més a més dels exemples vists, també és important comentar que quan s'intenten reparar, moltes vegades és sense èxit, és a dir, que també és important tenir el coneixement i les persones qualificades per poder aplicar els recursos adequats i de manera eficient en solucionar els problemes en el paviment.



Figura 6.9: Exemple d'una reparació prèvia que empitjora l'estat inicial [74]

Un factor de l'entorn molt comentat en els darrers anys, i no lliure de polèmica, són els reductors de velocitats o ressalts. Aquests elements, estan pensats per que el conductor redueixi la velocitat abans de passar per sobre. Ja de per sí, és un sistema molt agressiu pel sistema de suspensió del vehicle amb la qual cosa, la legislació

recomana passar normalment a una velocitat inferior a 30 o 50km/h depenent de les característiques que tinguin.

El problema s'agreuja quan una gran quantitat d'ells, no compleixen amb la normativa, ja sigui per culpa de la seva adequada senyalització o per que no compleixen amb les dimensions legals, tal i com es pot veure a la *Figura 6.10*.

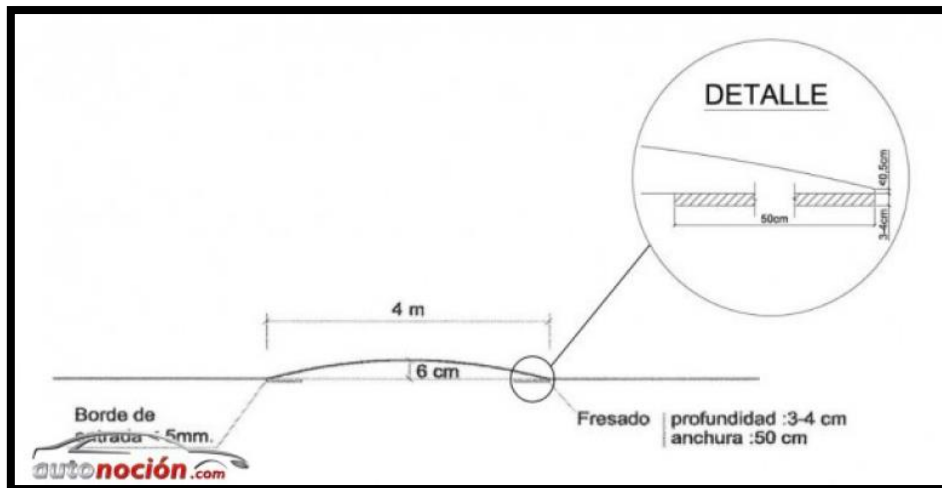


Figura 6.10: Mesures reglamentàries dels ressalts [75]

De tal manera que, al no complir amb totes les mesures obligatòries requerides, fa que siguin massa brusc o no estiguin senyalitzats com per que el sistema de suspensió rebi un impacte prou violent podent causar danys irreparables, acurtant la vida útil del sistema de suspensió i dels seus elements.



Figura 6.11: Ressalts seguits sense ser reglamentaris [74]



Figura 6.12: Ressalt no simètric a la calçada i no reglamentari [74]

Tal i com es pot veure, hi ha ressalts que són dobles, causant inclús un efecte de ressonància al passar amb el vehicle i ressalts quadrats amb la qual cosa, la suspensió i tot el pes del vehicle queda descompensat de manera significativa a cada banda del vehicle fent que cada suspensió del cotxe impacti d'una manera diferent amb aquest tipus de ressalt; incidint en un mal amortiment del sistema de suspensió.

6.2.3. Vehicle

L'estat del vehicle és un dels factors més determinants, ja que si el vehicle té el manteniment al dia, els elements de les suspensions sempre estaran revisats per experts i les peces deteriorades, canviades a temps; de tal manera que un bon manteniment pot evitar que un petit desgast es converteixi en un problema de seguretat greu.

Fer un bon manteniment del vehicle, tenir-lo en bon estat i ben revisat, permet mantenir les propietats dinàmiques del vehicle que ofereix la suspensió quan està nova de manera continuada en el temps i sense perdre efectivitat, amb el que es tradueix en més seguretat per als ocupants del vehicle i per als altres conductors i vianants en cas d'una maniobra de perill.

Tenen un paper molt decisiu per evitar que aquest factor sigui crític, les inspeccions tècniques del vehicle (ITV) on comproven que els components del vehicle estiguin en un estat suficientment bo per garantir aquesta seguretat i bon funcionament.

Per aquest motiu, des de la pàgina web de Preitv, especialitzada en tot el tema de les revisions de seguretat, donen una sèrie de consells bàsics i generals de manteniment dels sistemes de suspensió:

- Si el vehicle ja ha passat dels 100.000km, és millor revisar els amortidors.
- Les fuites d'oli en els amortidors es detecten de seguida, només cal mirar els guardapols, si estan humits i molt bruts el més segur és que existeixin pèrdues.
- Si al passar per una carretera amb molts sotracs o ressalts, s'escolten sorolls secs com "cloc", el més segur es que el problema vingui d'una ròtula o *silentblock*.
- Amb la suspensió hidràulica cal revisar el dipòsit del líquid hidràulic.
- En el cas de tenir espatllat un amortidor, és recomanable substituir la parella del mateix eix per que tinguin la mateixa eficàcia [76].



Figura 6.13: Comparativa de l'estat de conservació d'un amortidor [77]



7. FABRICANTS I NORMATIVES

En aquesta part del treball es fa incís en els principals fabricants de suspensions que hi ha a l'actualitat; amb una breu descripció de la seva història i especialització en el sector de les suspensions per als turismes. Amb aquesta informació, es pot saber quins bancs d'assaig utilitzen els fabricants per garantir que compleixen amb les característiques amb les que han estat dissenyades les suspensions abans de sortir al mercat i també per veure el seu desgast i poder fer un anàlisi dels possibles punts febles en el disseny de les suspensions.

També cal destacar que existeix una normativa de manteniment de les suspensions a nivell estatal que permet veure quins són els punts a revisar per garantir que la suspensió, amb l'ús, segueix sent fiable i segura per als ocupants del vehicle. Aquesta normativa dona unes pautes a seguir als fabricants per tal de centrar-se en reforçar els punts claus de les suspensions a l'hora d'afrontar desgasts a llarg termini.

Finalment comentar que és interessant veure quina normativa regeix les ITV¹³ i quins mètodes utilitzen per considerar que els elements de les suspensions funcionen bé o no. Cal destacar el paper d'Europa en aquest aspecte i quina transcendència té a nivell estatal.

7.1. Fabricants

Els fabricants que s'esmenten en aquesta part del treball són fabricants de amortidors i molles, principalment. Això és degut a que tal i com s'ha vist abans, una suspensió és un conjunt de varis elements i no hi ha cap fabricant que fabriqui tots els components d'una suspensió ell mateix, ja que cada fabricant s'especialitza en un component o varis de la suspensió.

¹³ D'ara en endavant en aquest treball, si no s'especifica, es referirà amb aquest terme tant al lloc on es realitza la revisió com a la pròpia revisió en sí.

Per poder fer més fàcil aquesta part i que no resulti tediosa ni massa extensa, s'ha decidit centrar-se en amortidors i molles ja que és el component de la suspensió que marca més la diferència i són els components més comuns en quasi tots els sistemes de suspensió.

La redacció dels principals fabricants s'ha fet per ordre alfabètic. I agafant els 8 fabricants més destacats.

7.1.1. Bilstein

A la dècada de 1950, es van trobar que el descobriment del francès Bourcier de Carbon, permetia revolucionar la tecnologia d'amortidors. Els enginyers de Bilstein van utilitzar el descobriment francès per crear un nou procés de producció: la fabricació del amortidor a pressió de gas mono-tub. La introducció d'aquest primer amortidor a un vehicle va ser al 1957 en un Mercedes-Benz.

Des d'aquell moment, els amortidors mono-tubs amb gas desenvolupats i provats per Bilstein han trobat el seu camí en la millora de la seva qualitat en pràcticament totes les marques d'automòbils, des del Bugatti Veyron i el Lamborghini Gallardo fins als models Porsche 911, Boxster i Cayman. La llista dels vehicles que es beneficien dels productes de Bilstein a la producció d'OEM o com a peces de recanvi és llarga i es pot comptar entre altres amb Aston Martin, Audi, BMW, Ford, Jaguar, Land Rover, Lotus, Mercedes, Mitsubishi, així com Nissan, Opel, Subaru i Volkswagen [78].

Bilstein és parlar d'una de les majors companyies del món d'amortidors i molles. Amb seu a Alemanya i formant part del grup ThyssenKrupp Bilstein GmbH; dissenya, fabrica, prova i distribueix amortidors OEM i esportius *Aftermarket*¹⁴.

Bilstein té dos grans unitats de negoci en l'actualitat:

¹⁴ són productes que estan pensats per que l'usuari els instal·li posteriorment a la compra del vehicle per millorar algun aspecte del vehicle i que no estava com a opció de compra per part del fabricant al moment de la compra del vehicle.

- Equipament *Aftermarket*: engloba tot amortidor OEM o esportiu que no necessiti modificació posterior. Aquí és on es pot encabir les suspensions adaptatives de molts dels fabricants de vehicles com Mercedes-Benz, BMW entre altres.
- Equipament Bilstein Motorsport: Engloba tots aquells amortidors que es fan de forma exclusiva per a una aplicació concreta com per exemple un tipus de competició [79].

Bilstein és especialista en amortidors i molles.

7.1.2. Eibach

Els productes Eibach es creen per satisfer els requisits extrems de les carreres d'automòbils. Busquen l'ajustament dels components individuals (molles, amortidors i estabilitzadors) per aconseguir la millor harmonia possible entre el conductor, l'automòbil i la carretera.

Eibach Springs han donat suport a força pilots professionals durant les dues últimes dècades. En sèries tan diferents com Fórmula 1 i NASCAR.

La llista dels socis d'Eibach són entre altres: AMG, Audi, BMW, Ferrari, Ford, Honda, Lamborghini, Lola, MazdaSpeed, Mitsubishi, Nissan, Subaru, Porsche, Renault F-1, Toyota [80].

Per tant, es pot dir que Eibach és una empresa més especialitzada en components de reforç i rigidesa del conjunt que no pas en amortidors.

7.1.3. Gabriel

Al 1907, es va inventar l'amortidor Snubber (comentat anteriorment en aquest mateix treball), un amortidor d'actuació directa per automòbils, i el primer d'aquest tipus. Un assoliment que al llarg dels anys es relacionaria amb el nom de l'empresa Gabriel. La companyia va continuar prosperant i va vendre amortidors d'acció directa per als mercats OEM i de reemplaçament.

Els avenços continus de Gabriel en tecnologia i innovació els han portat a convertir-se en una empresa de "primers"; creant el primer amortidor hidràulic automàtic; el primer amortidor ajustable i el primer amortidor d'aire ajustable.

A la dècada de 1970 i 1980, l'empresa va estar al seu punt àlgid d'expansió. Els forts programes de publicitat dels consumidors van portar a Gabriel al mercat com un dels únics proveïdors amb seu als Estats Units.

Gabriel continua expandint-se amb una línia de productes que ofereix cobertura al 96% dels vehicles actuals.

El futur de Gabriel continua amb una nova línia de productes en creixement i contínua expansió i un renovat compromís amb els seus clients i minoristes [81].

Per tant, Gabriel és una empresa que es dedica sobretot al sector dels amortidors centrant-se en oferir nous productes i innovacions que puguin donar un pas endavant en el sector.

7.1.4. H&R

Fa més de vint anys, Werner Heine i Heinz Remmen van agafar la primera inicial dels seus dos cognoms respectius i van començar la companyia ara coneguda com H&R. Va ser el primer fabricant que va presentar un certificat d'ús i fabricació a l'estricta *Technischer Überwachungs Verein* alemany (TUV), l'agència governamental que regula els productes per als automòbils i manté els estàndards de seguretat dels vehicles a motor per obtenir un certificat d'aprovació. També van ser els primers a rebre aquest certificat.

Al principi es pensava que cap amortidor adaptat i modificat, respecte al de sèrie, podria arribar a assolir estàndards estrictes de la TUV. En altres paraules, podria ser que H&R fos qui va crear el mercat de molles rebaixades a Alemanya i components més específics de competició.

Al 1993, H&R va anunciar que els seus kits de suspensió i els conjunts de molles complien amb els estàndards de certificació *Allgemeine Betriebs-Erlaubnis* (ABE) encara

més estrictes que els TUV.

La fàbrica d'H&R està constituïda per una sèrie d'edificis al petit poble de Lennestadt. A l'interior de la instal·lació, l'ordre, l'eficiència i la modernitat estan presents.

H&R, per exemple, té un contracte amb VW per fabricar les molles per al Golf esportiu, com el R8, també treballen per Porsche entre molts altres com Audi.

Tot i que la producció de molles és la major part dels negocis de H&R. Tenen un negoci obert en la fabricació d'amortidors per complementar amb les seves pròpies molles. Els amortidors estan dissenyats per adaptar-se a una varietat de rendiments diferents i, com a tal, H&R ofereix combinacions de ressorts i molles perfectament dissenyades per a una gran quantitat d'aplicacions de vehicles.

H&R utilitza un disseny d'amortidor mono-tub. Creuen que aquest enfocament ofereix menys fricció, millor refredament, millor estabilitat i menys emulsió de la barreja d'oli i aigua.

Abans de ser enviat, cada conjunt de amortidor i molla es prova en un dinamòmetre de xoc per assegurar-se que es fabrica dins dels paràmetres prescrits.

Mentre que alguns fabricants utilitzen l'acer inoxidable com a material d'elecció, H&R prefereix continuar oferint la qualitat de l'acer. Consideren que l'acer inoxidable és una mica menys rígid que altres metalls i és millor per mantenir la integritat. A més del pes afegit, un cos de puntal més gruixut no dissiparà la calor amb la mateixa eficàcia que una estructura més prima, i per tant, H&R decideix utilitzar acer inoxidable per a aquestes aplicacions.

A més, H&R també ofereix una gran varietat de separadors i adaptadors de rodes. També fabriquen una varietat de components per suspensions com les barres estabilitzadores, i actualment busquen produir la seva pròpia línia de bieletes de la suspensió (braços de connexió entre l'amortidor i el xassís) [82].

7.1.5.KW

Neix al 1995 com una companyia de suspensions per modificar les característiques dels turismes. Es van presentar al Essen Motor Show, i van rebre la seva primera aprovació del TÜV.

Al 1998 comencen a produir llantes esportives per finalitzar aquesta tasca al 2001 per centrar-se en les suspensions.

A partir del 1999 tenen èxit en els mundials de turismes esportius i sobretot s'associen amb la divisió esportiva d'Honda, esdevenen els principals patrocinadors del STW (*Super Touring Car Championship*), i posteriorment s'expandeixen als Estats Units.

Al 2001 comencen a desenvolupar suspensions ajustables i amb sistemes contra la corrosió. S'expandeixen a Suïssa i a més mercats Europeus al tenir ja força fama al mercat dels Estats Units.

Al voltant del 2004 creen les suspensions per obrir les portes dels cotxes que porten el sistema anomenat d'ala de gavina tal com es pot veure a la *Figura 7.1*.



Figura 7.1: Mercedes Benz 300 SL Gullwing [83]

A l'any 2008 s'associen amb la gama més radical i esportiva de Mercedes-Benz per muntar les seves suspensions de sèrie. A més, creen el sistema HLS (*Hydraulic Lift System*) que consisteix en elevar 45mm la part frontal del vehicle per permetre passar ressals i rampes amb cotxes molt baixos com puguin ser Ferrari i Porsche.

Al 2009 estableixen al circuit alemany de Nürburgring el seu centre de proves per a la seva divisió de competició, degut a l'alta exigència del circuit que té amb les suspensions, ho utilitzen com a banc d'assaig.

Entre el 2010 i el 2012, s'expandeixen a la gama esportiva de BMW per muntar les seves suspensions de sèrie i obren les portes al negoci comercial amb Xina. També creen la primera unitat de control de suspensió per a vehicles amb suspensió d'aire que permet reduir l'alçada del vehicle mitjançant una aplicació de telèfon mòbil.

Des de llavors, s'han associat amb tot tipus de marques de videojocs, fabricants de vehicles d'alt rendiment, competicions esportives de tots els nivells, i han seguit guanyant molts campionats en moltes disciplines [84].

De tal manera que, KW a dia d'avui es pot considerar una de les marques més prestigioses del món en quant a suspensions d'altres prestacions.

7.1.6. Monroe

Va ser fundada al 1916, pel mecànic i emprenedor August F. Meyer; inicialment fabricava bombes d'aire per inflar els pneumàtics dels amos dels primers automòbils. Meyer aviat es va unir amb un soci i a l'any 1926 van introduir el primer "Eliminador d'impactes" Monroe que aviat va reemplaçar a les suspensions de ballestes de molts vehicles.

“Monroe és una de les poques marques de components per a l'automòbil que ha estat capaç de romandre rellevant al llarg de l'últim segle liderant la innovació dins de les seves categories de producte.” Va dir Corey Bartlett, president de Automotive Parts Headquarters, Inc.

Monroe es va expandir a Europa al 1964; a Japó, Austràlia i Mèxic al 1972; a Sud-Amèrica al 1974; i a Canadà al 1975.

Tenneco, va comprar la companyia al 1977, i des de llavors ha ajudat al desenvolupament de diverses innovacions de Monroe per a turismes, camions i autobusos. Va introduir el primer amortidor pressuritzat amb gas al 1982.

A més de la seva forta presència al mercat de postvenda a nivell global, Tenneco és un dels majors fabricants mundials d'equips per a control de la conducció i suspensió. La revolucionària tecnologia electrònica ofereix als fabricants de vehicles una àmplia gamma d'opcions per ajustar els seus sistemes de suspensió als requeriments més específics, oferint un alt nivell de seguretat i confort als conductors.

Amb el lema “Fets per a les carreteres que estan per venir” han aconseguit tenir més de 100 anys al sector de l'automòbil [85].

7.1.7. Öhlins

Va ser fundada per Kenth Öhlin al 1976 a Suècia, i va començar a fer suspensions per motocicletes amb les que va guanyar varis campionats. Aquest èxit va portar a la companyia a patentar el seu primer amortidor al 1984. Posteriorment al 1988 Yamaha va comprar part de l'empresa. Gràcies a aquest moviment empresarial, va fer que Yamaha guanyés als següents anys gran multitud de carreres i algun campionat de moto GP. Fins que finalment al 1993, entren al mercat de l'automòbil de la mà de Nigel Mansell i el seu Formula.

Al 1997 s'expandeix als Estats Units i, juntament amb el company empresarial Tenneco, creen una nova evolució dels amortidors controlats electrònicament que temps enrere havien patentat.

Al 2003 comencen la producció en massa per al mercat de turismes de la mà de Volvo amb el seu S60R.

Al 2007 el seu creador recompra la part de l'empresa a Yamaha per tornar a recuperar el control de l'empresa. I crea el seu banc d'assaig al circuit alemany de Nürburgring.

A l'any 2009 i 2010, treuen al mercat la gamma d'amortidors per a cotxes de carrer. També creen un nou tipus de sistema de control electrònic per als amortidors especialment dissenyat per a Ferrari.

Al 2011 s'expandeixen als països nòrdics com a principal lloc de distribució a nivell mundial. A l'any 2013, fan el corresponent amb Tailàndia.

A l'any 2015 aconseguixen la fita d'haver venut més de 5 milions de vàlvules electròniques per a amortidors.

Es pot concloure dient que Öhlins fa amortidors per a motocicletes, turismes, quads i bicicletes. I té el seu principal mercat a Suècia, Europa i part d'Àsia [86].

7.1.8. SACHS

La història de la marca SACHS va començar l'any 1895, de la mà del fabricant d'eines Ernst Sachs; tant llavors com avui, la filosofia de l'empresa ha estat assegurar-se un avantatge clar enfront de la competència, en quant a la qualitat dels productes i a la innovació, com al servei d'atenció al client.

SACHS fabrica productes per a diferents àrees d'aplicació de turismes. Amb ells abasten gairebé tots els tipus de vehicles. Això és vàlid tant per al mercat d'automòbils europeu com per a l'asiàtic.

ZF participa amb SACHS activament en el sector professional de l'automoció. Com a assemblador de diferents productes, SACHS ha participat ja en més de 100 victòries i ha acumulat així una gran varietat d'experiències en les competicions automobilístiques [87].

SACHS principalment fabrica amortidors i embragatges per a turismes de carrer, tot i que també té la divisió de competició. A part, es pot considerar un dels grans proveïdors de recanvis.

7.2. Bancs d'assaig

En aquest apartat del treball es fan patents alguns dels bancs d'assaig que utilitzen els fabricants vists en l'apartat anterior així com el seu funcionament.

S'ha vist que hi ha fabricants que utilitzen bancs d'assaig en condicions exteriors com per exemple circuits o pistes privades pròpies i n'hi ha d'altres que són interiors.

Es distingeixen dos tipus de bancs de proves depenent de la seva potència i els moviments que permeten:

- Electromecànics: La central de potència la constitueix un motor elèctric.
- Servo hidràulics: La potència ve subministrada per un o varis actuadors hidràulics que proporcionen major força per a la realització de l'assaig. Són els més comuns.

No existeix cap normativa nacional o internacional establerta que sigui relativa als assaigs dels amortidors i components de la suspensió, sinó que cada fabricant té el seu propi mètode d'assaig i anàlisi.

També són bancs d'assaig els que es realitzen sobre el terreny i en condicions reals i els programes que s'han desenvolupat recentment per al càlcul dels paràmetres a nivell matemàtic.

7.2.1. Bancs d'assaig electromecànics

Són màquines d'assaig que la seva central de potència consisteix en un motor elèctric que proporciona gir a un volant, el qual, mitjançant la connexió amb un pistó, transforma el moviment de rotació en un moviment lineal.

Aquests bancs d'assaig són els menys utilitzats degut a la menor força subministrada per la seva central de potència que en els servo hidràulics.

Com a exemple a aquest tipus de bancs d'assaig es pot citar el subministrat per l'empresa MecaDyn; el qual té la possibilitat de modificar la velocitat de gir del volant per simular diferents condicions d'ús.



Figura 7.2: Banc d'assaig MecaDyn [88]

7.2.2. Bancs d'assaig servo hidràulics

Es tracta de bancs d'assaig dotats d'un o varis actuadors servo hidràulics que proporcionen una major força que els electromecànics.

Generalment són molt versàtils, ja que permeten assajos de fatiga i dinàmics tant a tracció, compressió i flexió.

En la Figura 7.3 es mostra un esquema dels elements que componen un banc d'assaig d'aquest tipus, en particular de la marca Microtest.

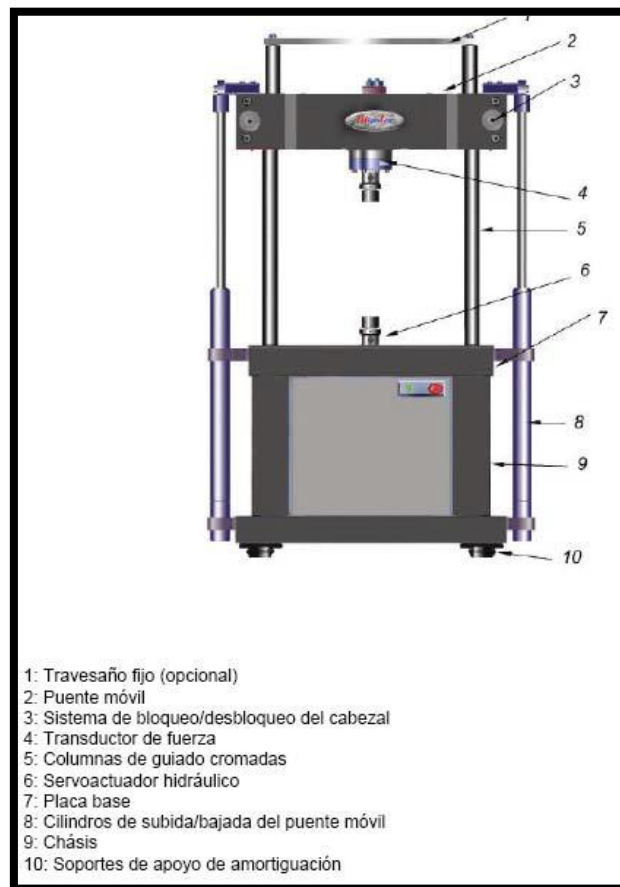


Figura 7.3: Microtest sèrie EFH [88]

Les empreses que comercialitzen aquests bancs d'assaig ofereixen, generalment sota demanda de l'usuari, modificacions constructives per adaptar-se a les seves necessitats. D'aquesta forma poden ser utilitzades per a més finalitats i més tipus de components de la suspensió.

Encara que la versatilitat d'aquestes màquines és un valor afegit, empreses com IST posseeixen un catàleg prou extens com per dur a terme assaigs amb diferents característiques depenent de les necessitats del demandant.

En l'àmbit de les empreses que subministren bancs d'assaig per amortidors, cal destacar l'empresa MTS Systems Corporation.

Cal sumar la capacitat d'assaig de MTS per mesurar altres paràmetres com són la influència de la temperatura en el comportament en servei, així com les diferents formes d'ona aplicables durant l'assaig. Tots aquests paràmetres són fàcilment avaluable amb

el programari subministrat per MTS.

Les capacitats de càrrega dels bancs d'assaig servo hidràulics abasten un rang bastant ampli que parteix dels 15kN dels més senzills fins als 1500 o 2000kN dels més potents. El mateix ocorre amb les freqüències d'excitació que proporcionen aquests actuadors, estant compreses entre els 0,1 Hz fins als 1000Hz [88].

Com a exemple d'aquest tipus de bancs d'assaig cal destacar el BSU NET, que es tracta d'un dels més moderns. I que també és un dels més usats en les estacions ITV.

S'ha dissenyat per suportar càrregues de fins a 16Tn. La seva principal comesa és realitzar l'anàlisi ràpida i eficaç de l'estat de la suspensió de vehicles lleugers.

L'assaig es realitza mesurant individualment les rodes de cada eix. La bancada porta incorporada sistemes de seguretat que detecten la presència del vehicle durant l'assaig. Un ordinador s'ocupa de controlar tot el sistema de mesurament i el funcionament de la màquina. El control es realitza mitjançant teclat, ratolí o comandament a distància. La visualització de resultats és gràfica i numèrica, i mostra l'efectivitat de la suspensió independentment per a cada roda.

Els motors de 3kW sotmeten la suspensió del vehicle a una oscil·lació màxima de 16Hz simulant les condicions de la carretera per obtenir el grau d'adherència del vehicle a la mateixa [89].

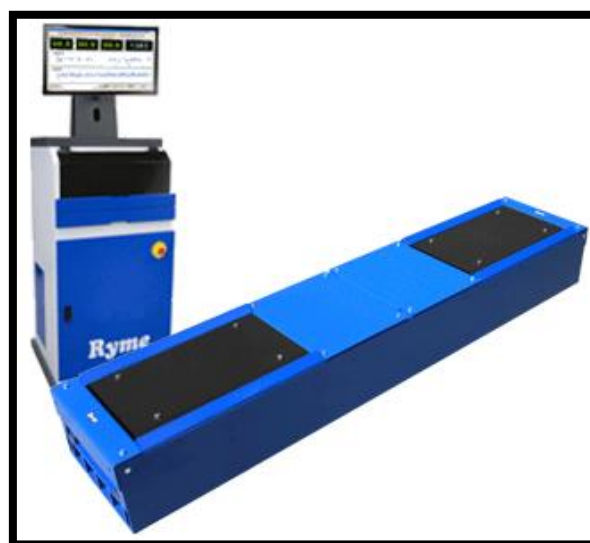


Figura 7.4: Banc d'assaig BSU NET [89]

També cal destacar la importància de testejar els elements de la suspensió com les juntes o els coixinets, ja que al ser elements elàstics i d'unió, suporten moltes vibracions així com components interns del amortidor que estan fabricats de cautxú i derivats.

Per això cal destacar l'exemple de NTN-SNR, que és fabricant de topalls de suspensió, que és l'element que protegeix i amorteix els impactes de l'amortidor amb la carrosseria.



Figura 7.5: Topall de suspensió fabricat per NTN [90]

Aquesta empresa se centra en les suspensions MacPherson i testreja cada producte per determinar les especificacions dels seus productes en tres assaigs:

- Durabilitat: mesura la vida útil del producte a través de situacions fictícies (fang, sal, aigua) per verificar la estanqueïtat i la resistència a la corrosió.



Figura 7.6: Test de durabilitat [90]

- Parell de fricció.
- Test de fatiga: prova diferents càrregues amb l'objectiu de aconseguir que si hi ha una variació del parell superior al 30% no existeixi deteriorament [90].

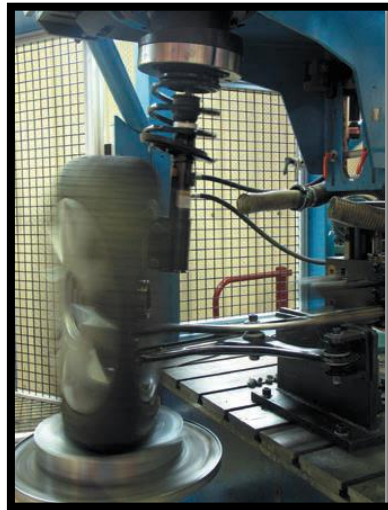


Figura 7.7: Test de fatiga [90]

7.2.3. Bancs d'assaig sobre el terreny

Apart dels centres que tenen alguns dels fabricants de suspensions a diversos circuits del món, hi ha empreses que estan especialitzades en aquest tipus de bancs d'assaig i tenen pistes amb moltes característiques concretes escollides a mida per representar diferents situacions de conducció real.

Així com IDIADA, és una d'elles i força important a nivell nacional.

Aquesta empresa compta amb 3 circuits de proves per avaluar les suspensions.

Pista de fatiga:

És un pista on s'hi representen varis tipus de paviments per veure el comportament de cadascun. Es manté el vehicle circulant per la pista de proves durant molta estona per castigar a propòsit els elements de la suspensió del vehicle i així establir un marge de seguretat en l'ús real i assegurar un vida útil del producte prou llarga.



Figura 7.8: Característiques tècniques de la pista de fatiga [91]



Figura 7.9: Exemples de seccions de la pista de fatiga [91]

Pistes de confort:

Es tracta d'una pista que conté elements que s'afegeixen als paviments per regular la velocitat, o elements urbans com ara bordons i diferents tipus de ressalts [91].



Figura 7.10: Característiques tècniques de la pista de confort A [91]



Figura 7.11: Exemples d'elements de la pista de confort A [91]

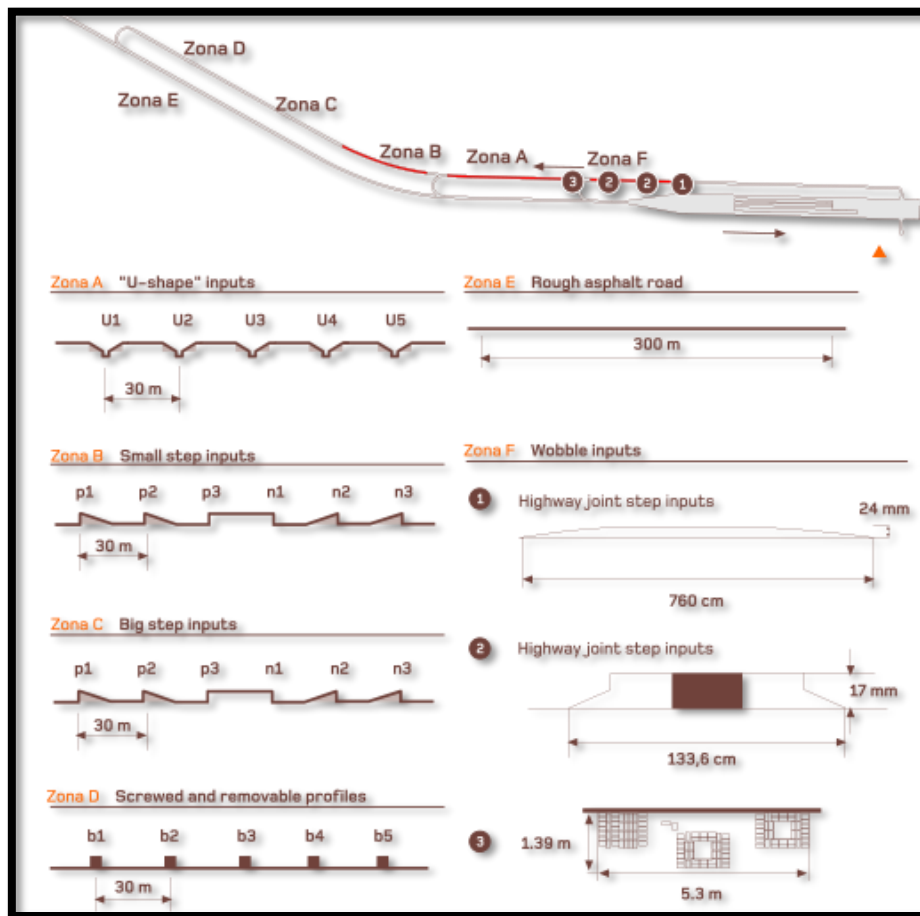


Figura 7.12: Característiques tècniques de la pista de confort B [91]

7.2.4. Bancs d'assaig matemàtics i simulats

Són programes que utilitzen el llenguatge matemàtic de programació per crear uns entorns al gust del client i a la seva necessitat, i que permeten emular la fatiga i les característiques desitjades en qüestió de minuts i no pas dies com en els altres casos.

Algun exemple d'aquest tipus de programa pot ser el ADAMS/Car del grup MscSoftware. On permet fer simulacions de diferents components estructurals de les suspensions en diferents situacions d'estrès i de fatiga per poder avaluar la vida útil de cada component de la suspensió així com el seu desgast al llarg d'aquesta [92].



Figura 7.13: Reclam publicitari i exemple del simulador ADAM [92]

7.3. Normativa ITV

En aquesta part del treball es busca comprovar quines són les normes establertes en la ITV per al correcte manteniment de les suspensions dels turismes a Espanya. Així com comprovar quins són els punts que es revisen i quina importància tenen per que, posteriorment, els fabricants puguin millorar els seus productes i focalitzar-se amb els punts febles que tenen en consideració a la ITV.

7.3.1. Introducció, funcionament estatal i europeu

La ITV és un tipus de manteniment legal preventiu en el que el vehicle és inspeccionat periòdicament per una persona certificadora, la qual verifica el compliment de les normes de seguretat i emissions contaminants que li siguin aplicables.

En algunes legislacions, és necessari que un vehicle aprovi la ITV per poder ser matriculat o per renovar la seva llicència, aquesta aprovació s'acredita mitjançant un certificat emès per l'entitat a càrrec de la inspecció, i en alguns països com Espanya s'adhereix un distintiu en el parabrisa, a fi de facilitar la seva fiscalització. En alguns països la inspecció es realitza en tallers ambulants en diferents punts de les ciutats.

Tipologia de defectes i resultats de la inspecció

S'estableixen 4 resultats possibles en l'informe d'inspecció:

- Inspecció favorable sense defectes
- Inspecció favorable amb defectes lleus
- Inspecció desfavorable
- Inspecció negativa

S'estableixen 3 tipus de defectes:

- Defectes Lleus (DL)
- Defectes Greus (DG)
- Defectes Molt Greus (DMG)

Si la inspecció és considerada favorable amb defectes lleus, l'usuari ha de corregir-los, però no ha de tornar per a la comprovació de la correcció d'aquests defectes. Si el vehicle té defectes greus (DG), la inspecció serà considerada desfavorable i el propietari està autoritzat a dirigir-se a reparar-ho i a tornar a una estació ITV qualsevol per comprovar la correcció d'aquests defectes.

En el cas de diagnosticar-se defectes molt greus (DMG), la inspecció serà considerada negativa, el vehicle no està autoritzat a abandonar l'estació d'ITV per mitjans propis, sinó que haurà de fer-ho per mitjans aliens (grua o similar) fins al lloc de reparació i tornar per comprovar la correcta reparació dels defectes.

El resultat d'inspecció favorable sense defectes o favorable amb defectes lleus permet circular al vehicle amb normalitat fins que torni a caducar la inspecció [93].

Fins l'any 2017, aquest procediment era vàlid a nivell estatal i compartia algunes de les característiques amb altres mètodes de països europeus. Però hi ha hagut canvis a nivell europeu el passat mes d'agost del 2017. De tal manera que gràcies a un acord centralitzat per a tota la Unió Europea, de cara al 2018 es pot considerar una ITV europea, és a dir, un sol mètode per a tot Europa i vàlid en tota aquesta.

Després de gairebé dos anys construint la proposta d'unificació de les ITV a Europa, el Comitè Internacional d'Inspecció Tècnica de Vehicles (CITA) va demanar que aquest nou

model d'examen sigui molt més dur i sobretot que sigui igual per a tots els conductors dels països europeus. El CITA, és una agrupació d'associacions i entitats relacionades amb aquest camp a nivell mundial; és a dir, el Comitè ho formen més de 120 empreses públiques i privades que s'encarreguen de les inspeccions tècniques de vehicles a tot el món. L'acolliment de les propostes del CITA per a la Unió Europea han estat acceptades per a entrar en vigor a l'any 2018.

La part més costosa serà que aquestes noves normes requereixen un material i eines més modernes. No obstant això, farà que Europa gaudeixi d'una major seguretat en les carreteres, reduint el nombre d'accidents. Una de les coses per les quals s'aposta és que aquestes noves revisions redueixin el nivell de contaminació i de les emissions dels automòbils [94].

A Catalunya en concret es poden trobar 5 empreses de ITV: Certio, PrevenControl, Applus, Itevelesa i Atisae [95].

Totes elles depenen igualment del ministeri d'economia, industria i competitivitat espanyol. Amb la qual cosa, totes venen regulades per les mateixes normes d'inspecció.

7.3.2. Normativa suspensions

En relació als sistemes de suspensions, la normativa a seguir es basa en la última versió del Manual de procediment de inspecció de les estacions ITV per a les categories M, N i O, que està en la versió 7.2.2, realitzat per entrar en vigor amb data 1 de febrer de 2018.

Segons la normativa general el mètode a seguir és mitjançant inspecció visual; es comprova, l'estat i la fixació dels diferents components de la suspensió, ressorts (molles, ballestes), topalls, amortidors, barres de torsió i estabilitzadores, articulacions, tirants, braços i ròtules que incorpori el vehicle, prestant especial atenció a:

- Operativitat de la suspensió.
- L'estat de les fixacions del xassís i les folgances.
- Presència de fissures.
- Existència de reparacions al xassís mitjançant soldadura.

- Presència de danys o deformacions.
- Síntomes de corrosió.
- Desgast o joc excessiu.
- Existència de dispositius d'amortiments (amortidors o elements equivalents en els sistemes de suspensió pneumàtica, oleopneumàtica o hidràulica).
- Existència de fuites d'oli.
- Estat de les articulacions de goma tals com *silentblocks*, topalls, etc...
- Estat de les fulles de ballesta.

En aquells vehicles que incorporin sistemes de suspensió pneumàtica, es comprova a més a més:

- Existència de pèrdues d'aire inadequades al circuit d'alimentació de l'aire comprimit o dels acordions pneumàtics.
- Indicadors d'averia a través del testimoni.

En aquells vehicles que incorporin sistemes de suspensió oleopneumàtics o hidropneumàtics, es comprova a més a més:

- Existència de fuites.
- Indicadors d'averia a través del testimoni.

Tot i no ser de deguda obligació, pràcticament a totes les estacions d'inspecció incorporen un banc d'assaig com els comentats anteriorment per fer proves de vibracions i poder detectar amb més facilitat tots els punts anotats [96].

Aquests bancs d'assaig assisteixen al operari en la realització de les comprovacions vistes en aquest apartat i també permeten realitzar una comprovació més eficaç i tècnica de la revisió. Encara que no estigui especificat, en tots els centres de ITV compten amb bancs d'assaig per a diferents tipus de vehicles.

Taula 8: Interpretació dels defectes [96]

	Qualificació
La suspensió no està operativa	DG
Trencament o inexistència de topall de suspensió	DG
Estat/fixació defectuós de la molla	DG
Estat/fixació defectuós d'algun component de la suspensió o absència d'un d'ells	DG
Pèrdua d'oli o d'algun altra fluid de la suspensió	DL/DG
Estat/fixació defectuós de la barra de torsió	DG
Estat/fixació defectuós de la barra estabilitzadora	DG
Estat/fixació defectuós d'algun tirant de la suspensió	DG
Estat/fixació defectuós d'algun braç de la suspensió	DG
Folgança de les ròtules de la suspensió	DG
Guardapols molt deteriorat	DL
Guardapols trencat o inexistent	DG
Trencament d'una fulla de ballesta	DL
Trencament d'una fulla mestre o més d'una fulla de ballesta	DG
Abraçadora de la ballesta trencada o solta	DG
Existència de soldadures de reparació defectuoses	DG
Existència de pèrdues d'aire inadequades al circuit d'alimentació de l'aire comprimit o dels acordions pneumàtics	DG
Existència de fuites oleopneumàtiques o hidràuliques	DG
Averia (detectada a través del testimoni)	DG

8. CONCLUSIONS

En aquest treball s'han plantejat una sèrie d'objectius inicials els quals se'n poden extreure unes conclusions que a continuació s'exposen:

Primerament, en referència a l'evolució històrica dels sistemes de suspensió als automòbils, cal destacar que durant els primers anys i al tractar-se d'un element que no existia prèviament, hi va haver una gran demanda de fabricació, consum i negoci. La qual cosa va permetre la proliferació de molts tipus de suspensions diferents amb innovacions de tots tipus, algunes suspensions amb dissenys molt diferents als altres competidors; gràcies a tots aquests avanços van poder inventar-se sistemes que encara funcionen a l'actualitat i que són una evolució moderna d'aquells primers.

Quan el sector del automòbil comença a adquirir maduresa comercial i social, van desapareixent tipus de suspensions per donar pas als que serien els principals tipus de suspensió que es repartiran tot el mercat automobilístic i que tenen un desenvolupament més avançat respecte als competidors que han hagut de desaparèixer per que ja no eren competitius i no estaven a l'alçada de les noves demandes del sector.

Amb l'evolució dels elements electrònics en tots els camps de la societat, l'automòbil ha vist en aquest element un gran salt qualitatiu, de tal manera que la unió de la electrònica i la mecànica en els sistemes de suspensió ha permès una millora prou significativa com per implementant-ho en els nous turismes a mesura que els costos estant sent més assumibles.

També s'ha vist com hi ha una forta inversió amb la electrònica de les suspensions, permetent regular i calcular per elles mateixes els seus propis paràmetres per poder adquirir en el vehicle un nivell superior de seguretat dinàmica i de prestacions. Cal destacar que a part de la electrònica, amb l'arribada dels vehicles elèctrics als mercats de consum, els fabricants busquen alleugerir tot el conjunt d'elements de les suspensions per reduir el pes i per tant, millorar l'autonomia del vehicle. Per tant, hi ha una forta inversió també en nous materials més resistents i lleugers.

Un dels objectius del treball era poder veure les principals característiques dels sistemes de suspensió més actuals, i per aconseguir això, s'ha fet una doble comparativa per poder posar en context els motius que fan que hi hagi una coexistència entre els

diferents tipus de suspensions al mercat actual. Exposant els punts febles i forts de cada tipus. Amb aquest procediment s'ha pogut veure com cada suspensió té unes característiques que per la geometria o per la tecnologia que utilitza, té un tipus d'ús millor que un altra, ja que no tots els cotxes necessiten les mateixes suspensions. S'ha vist com cada tipus de cotxe es fa per un tipus de client potencial concret i per un tipus de conducció concret, de manera que suspensions més senzilles, permeten fer turismes més barats i més robusts per a tipus de conductors més inexperts i amb menys pressupost per costejar manteniments més cars, i també hi ha suspensions que permeten unes característiques dinàmiques més superiors, però impliquen uns sistemes de suspensió més cars i més complexos, amb la qual cosa només poden anar instal·lats en certs tipus de cotxes d'unes dimensions concretes i amb uns preus més elevats. Es pot dir que, cada sistema de suspensió és igual de necessari que qualsevol altra per que cobreix unes necessitats concretes per a uns tipus de vehicles en concret. Amb la qual cosa el mercat està molt repartit i es manté en equilibri amb els diferents tipus de suspensió.

S'ha vist també que les suspensions semi-actives són la tendència en un futur a curt termini més evident, per que no tenen un cost gaire més elevat que unes de mecàniques i la millora és substancial en molts aspectes; però en l'actualitat els costos són cars encara, tot i així, gràcies als grans avenços en aquest camp, es pot quasi confirmar que en els propers anys la incorporació de la electrònica en les suspensions serà massiva en quasi tots els tipus de turismes per passar en un futur a més llarg termini a ser totalment adaptatives amb la qual cosa seran més autònomes i més eficients.

S'ha pogut comprovar amb el treball de camp que segons els enquestats, hi ha petites discrepàncies entre les característiques vistes a nivell teòric i les vistes a nivell pràctic en les enquestes, això és degut a que cadascú té un punt de vista personal. Tot i això, lo important és que les virtuts i les febleses dels principals tipus de suspensions es veuen reflectits pels enquestats, de tal manera que s'aprecia una correlació entre el que els fabricants determinen que és millor a l'hora de innovar i el que els enquestats (la majoria d'ells professionals del sector) perceben que és millor. Això significa que els avenços que s'estan donant a terme, tenen un efecte i una repercussió real i positiva en el comportament del vehicle i en la seguretat dinàmica, i tan l'usuari final com els professionals també ho perceben així.

És important destacar com els resultats de les enquestes van lligats a una sèrie de manteniments que s'han de fer a les suspensions i que tenen a veure amb la ITV, que és l'encarregada de realitzar uns controls força exhaustius que influencien precisament en el manteniment, desgast i ús de les suspensions, ja que aquesta inspecció segueix un procediment força meticulós i a més, és obligatori a tots els vehicles a partir dels 4 anys d'antiguitat i cada cop amb més freqüència. Aquesta inspecció conforma la normativa d'ús i manteniment de les suspensions.

Es pot concloure també que hi ha 3 grans factors que determinen els resultats tant de les enquestes com de les revisions a la ITV, per la qual cosa, són 3 factors a tenir presents si es vol fer un ús correcte de les suspensions i tenir un bon manteniment. Val a dir que hi ha factors que depenen del conductor i n'hi que no directament. Però al final, el conductor, directa o indirectament és el que determina l'ús de les suspensions i el seu bon funcionament i no pas el tipus de suspensió ni el tipus de vehicle.

Un altre dels objectius plantejats inicialment era veure quins fabricants hi havia i quin paper tenien en el sector, i es pot dir que tot i haver bastants fabricants de suspensions al món, hi ha grans grups empresarials que controlen varies marques més petites que estan més especialitzades i per tant, a aquests grans grups empresarials els permet controlar molts tipus de suspensions i conseqüentment, molts tipus i models de vehicles al món. Finalment comentar també que els fabricants de suspensions han hagut de diversificar el seu negoci amb la fabricació de varis components de les suspensions sense especialitzar-se només en un i expandir-se a varis mercats com són les bicicletes de muntanya entre altres.

Com a conclusió final del treball, es podria dir que aquest treball permet fer un repàs força exhaustiu de l'evolució de les suspensions veient els diferents tipus al llarg de la història fins a l'actualitat i finalment veient quines són les tendències on els principals fabricants estan invertint més per millorar les suspensions als propers anys. També s'ha pogut veure quines són les virtuts i els defectes dels principals tipus de suspensions i entendre per què poden coexistir en l'actualitat; per acabar amb el treball de camp i com es plasmen aquestes innovacions en els consumidors i treballadors del sector.

Com a continuïtat del treball present, seria d'utilitat poder realitzar un estudi entrant més al detall en el funcionament d'alguns dels components vists en les suspensions. Així com poder afegir una part més de detall numèric de paràmetres de funcionament dels amortidors, tant dels diferents tipus d'amortidors que hi ha com dels sistemes electrònics que assisteixen als sistemes de suspensió adaptatius més moderns. També es podria ampliar el treball present fent una recerca amb més detall del funcionament de cada component i les seves característiques al detall. Acompanyant aquestes característiques, seria interessant donar valors de resistència dels materials i la seva fatiga, fent que amb aquesta informació sigui possible conèixer l'extensió de la vida útil de cada tipus de suspensió.

Es pot donar continuïtat al treball de cara al Treball Final de Màster fent un càlcul per elements finits, així com simulacions d'estructures, vibracions i condicions d'ús.

9. IMPACTE AMBIENTAL

Tal i com està en l'abast del treball, es demana fer un desenvolupament de l'impacte ambiental; en aquest treball no es té en compte l'impacte ambiental que tenen els sistemes de suspensió de cada tipus, tant en la fabricació com en el seu cicle de vida i reutilització. Per la qual cosa, només es té en compte l'impacte ambiental que es genera amb la realització del treball.

Amb això, es pot dir que no hi ha una incidència en el desenvolupament del treball que tingui a veure amb l'impacte ambiental, per la qual cosa no es veu afectat de cap manera vinculant als temes tractats.

Impacte ambiental de la realització del treball:

Per a la realització d'aquest treball s'ha tingut en compte:

- Preu mitjà electricitat a Catalunya al Febrer del 2018: 0,12088€/kWh [97].
- Hores totals realitzades al projecte: 330h (tal i com es pot veure al document Annex).
- Emissions de CO₂ d'un consum mixt pel mateix vehicle: 153gr/km [98].
- Nombre de Kilòmetres fets amb el vehicle: 645km (tal i com es pot veure al document Annex).
- Petjada ecològica de CO₂ d'electricitat generada: 29tones/GWh¹⁵ [99].

Consums:

- Portàtil petit: 15W/h.
- Il·luminació LED estància: 30W/h.
- Consum cotxe: 5,7L/100km.

Tots els valors per usats per calcular els totals, es poden veure al detall al document Annex.

S'han realitzat els següents càlculs per poder calcular l'impacte ambiental a partir de les dades descrites:

¹⁵ Segons el Institut Català d'Energia de Catalunya, més del 50% de la energia prové de les centrals nuclears; amb la qual cosa s'ha estimat la petjada ecològica tenint en compte que és només de procedència nuclear [101].

$$\text{Consum portàtil: } \frac{15W}{h} \cdot 330h \cdot \frac{1kW}{1000W} = 4,95kW$$

$$\text{Impacte ambiental portàtil: } \frac{29\text{tonaCO}_2}{GWh} \cdot \frac{1000kgCO_2}{1\text{tonaCO}_2} \cdot \frac{1GW}{1000000kW} \cdot 330h \cdot 4,95kW = \mathbf{47,37kg\ CO_2}$$

$$\text{Consum il·luminació: } \frac{30W}{h} \cdot 330h \cdot \frac{1kW}{1000W} = 9,90kW$$

$$\text{Impacte ambiental il·luminació: } \frac{29\text{tonaCO}_2}{GWh} \cdot \frac{1000kgCO_2}{1\text{tonaCO}_2} \cdot \frac{1GW}{1000000kW} \cdot 330h \cdot 9,90kW = \mathbf{94,74kg\ CO_2}$$

$$\text{Impacte ambiental cotxe: } \frac{153gCO_2}{km} \cdot 645km \cdot \frac{1kg}{1000g} = \mathbf{98,69kg\ CO_2}$$

Si se sumen tots els valors es pot obtenir un total de: **240,8kg de CO₂**.

Conclusions:

Si es té en compte que segons la pàgina web de petjades ecològiques [100], segons les característiques mitges de la meua vida quotidiana, la pàgina web estima que genero 13,9tones de CO₂ a l'any, si aquest valor el passem a hores, dona 1,59kg de CO₂ per hora. Si aquest valor el multipliquem per les hores que s'han dedicat al treball, tenim que: **523,63kg de CO₂**.

Es pot considerar que durant el període de la realització del treball, s'ha fet un impacte ambiental menor a la meitat del consum mig segons el meu estil de vida. Amb la qual cosa, és un valor que es pot considerar acceptable.

Tot i que es podria dir que els trajectes s'haguessin pogut fer en transport públic per reduir encara més l'impacte ambiental.

BIBLIOGRAFIA

- [1] GRUPO CARMAN, «GRUPO CARMAN. BLOG DE NOTICIAS, NOVEDADES Y PROMOCIONES DEL GRUPO EMPRESAS CARMAN,» 16 Febrer 2015. [En línia]. Available: <http://grupocarman.com/blog/tipos-de-suspensiones-en-automoviles/>. [Últim accés: 26 Novembre 2017].
- [2] J. G. Alfaraç, «Motor.es,» 26 Gener 2017. [En línia]. Available: <https://www.motor.es/noticias/la-suspension-i-201733323.html>. [Últim accés: 26 Novembre 2017].
- [3] Wikipedia, «Wikipedia,» 25 Novembre 2017. [En línia]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Suspension_\(vehicle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Suspension_(vehicle)). [Últim accés: 26 Novembre 2017].
- [4] Dave, «INITIAL DAVE Suspension Basics 1 - Why We Need It,» 29 Gener 2015. [En línia]. Available: <https://web.archive.org/web/20150129123616/http://www.initialdave.com/cars/tech/suspensionbasics01.htm>. [Últim accés: 26 Novembre 2017].
- [5] newsdesk.si.edu, *duryea_automobile.jpg*, Entrust, Inc., 2013.
- [6] Revista Mecànica Popular, «Mi mecanica popular,» Gener 1986. [En línia]. Available: <http://www.mimecanicapopular.com/verautos.php?n=126>. [Últim accés: 27 Novembre 2017].
- [7] www.partservice.co.uk, *Leaf_Spring_Suspension_main_1.jpg*, 2015.
- [8] J. Barach, «MOTOR ERA,» [En línia]. Available: <https://www.motorera.com/history/hist08.htm>. [Últim accés: 30 Novembre 2017].
- [9] spct2000.files.wordpress.com, *precisioncarrestoration-com.jpg*, GoDaddy.com, Inc., 2016.
- [10] John, «Precision Restorations,» 17 Juliol 2014. [En línia]. Available: <http://precisioncarrestoration.com/how-it-works-automobile-suspension-front-suspension/>. [Últim accés: 1 Desembre 2017].
- [11] M. Radu, «Autoevolution,» Disqus, 30 Setembre 2012. [En línia]. Available: <https://www.autoevolution.com/news/citroen-hydropneumatic-suspension-explained-49954.html#>. [Últim accés: 10 Desembre 2017].
- [12] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 15 Juliol 2016. [En línia]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Sliding_pillar_suspension. [Últim accés: 14 Desembre 2017].
- [13] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 1 Novembre 2017. [En línia]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi%C3%B3n_Dubonnet. [Últim accés: 14 Desembre 2017].

- [14] admin, «Mechanical Engineering,» WordPress, 17 Juliol 2015. [En línia]. Available: <http://www.mechanicalengineeringblog.com/5337-torsion-bar-suspension-system-in-automobile-construction-and-working-of-torsion-bar-suspension-system/>. [Últim accés: 28 Desembre 2017].
- [15] GESTIONMAX, «MOTOR GIGA,» 29 Gener 2017. [En línia]. Available: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/de-dion-puente-de-definicion-significado/gmx-niv15-con193788.htm>. [Últim accés: 2 Desembre 2017].
- [16] i.pining.com, *e381ed463fa860fdbd4f0d3b1dcfa2e1--gabriel-old-cars.jpg*, DigiCert Inc.
- [17] O. Ertl, *T-11.JPG*, Bratislava: CC BY-SA 3.0, 2006.
- [18] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 12 Desembre 2017. [En línia]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi%C3%B3n_independiente#Ejes_Oscilantes. [Últim accés: 13 Desembre 2017].
- [19] Andres, «concurso_formpro_ta,» 2005.
- [20] D. meganeboy, «Aficionados a la mecanica,» 29 Desembre 2013. [En línia]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension3.htm>. [Últim accés: 7 Desembre 2017].
- [21] J. A. P. Cazorla, «Blog buscador de talleres,» WordPress, 7 Juny 2017. [En línia]. Available: <https://buscadordetalleres.com/blog/grandes-inventos-en-el-mundo-del-automovil-la-suspension-mcpherson/>. [Últim accés: 7 Desembre 2017].
- [22] vignette.wikia.nocookie.net, *Mcpherson_strut.jpg*, DigiCert Inc.
- [23] images.cdn.circlesix.co, *corvette-577ef957cb45d.png*, Amazon.
- [24] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 11 Novembre 2017. [En línia]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Independent_suspension. [Últim accés: 7 Desembre 2017].
- [25] www.supercars.net, *1936_Packard_OneTwentyModel120B-0-10241.jpg*, COMODO CA Limited, 2016.
- [26] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 1 Novembre 2017. [En línia]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi%C3%B3n_de_doble_horquilla. [Últim accés: 9 Desembre 2017].
- [27] Charles01, *Morris Minor MM (low-lights) 1950 moving.JPG*, CC BY-SA 4.0, 2015.
- [28] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 14 Agost 2017. [En línia]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Torsion_bar_suspension. [Últim accés: 9 Desembre 2017].

- [29] i.ytimg.com, *maxresdefault.jpg* (Imagem JPEG, Google Inc.
- [30] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 5 Setembre 2017. [En línia]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-link_suspension. [Últim accés: 9 Desembre 2017].
- [31] upload.wikimedia.org,
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b9/1954_Citroen_15CVH.JPG/220px-1954_Citroen_15CVH.JPG, DigiCert Inc, 2013.
- [32] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 9 Novembre 2017. [En línia]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Hydropneumatic_suspension. [Últim accés: 10 Desembre 2017].
- [33] J. A. Urbieto, «Amortiguadores y suspensión,» tecnun, Navarra, 2003.
- [34] Charles01, *Austin Allegro Registration ca 1975.jpg*, CC BY-SA 3.0, 2008.
- [35] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 26 Setembre 2017. [En línia]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrolastic>. [Últim accés: 11 Desembre 2017].
- [36] i1.wp.com, *citroen-2-cv-leaning.jpg*, GoDaddy.com, Inc., 2017.
- [37] www.lanciaaurelia.info, *1952-yy-zz-b20-s2-transaxle-1-of-1_2_orig.jpg*, 2017.
- [38] Delphi Auto Parts, «Steering & Suspension History | Delphi,» 31 Octubre 2017. [En línia]. Available: <https://www.delphiautoparts.com/en/toolbox/steering-suspension-history>. [Últim accés: 15 Desembre 2017].
- [39] C. J. Longhurst, «Car Bibles,» Gener 2017. [En línia]. Available: http://www.carbibles.com/suspension_bible_pg4.html#complexunits. [Últim accés: 4 Gener 2018].
- [40] C. J. Longhurst, «Car Bibles,» Gener 2017. [En línia]. Available: http://www.carbibles.com/suspension_bible_pg3.html. [Últim accés: 4 Gener 2018].
- [41] Á. Palacios, «Infotallertv,» nfocap Communication & Publishing, S.L., 16 Juny 2016. [En línia]. Available: http://www.infotaller.tv/electromecanica/Tenneco-presume-suspension-inteligente_0_1009099086.html. [Últim accés: 4 Gener 2018].
- [42] Postventa de automocion, «Posventa de automocion,» Digital Newspaper SL, 4 Abril 2016. [En línia]. Available: <http://www.posventa.com/es/notices/2016/04/tenneco-suministra-la-suspension-inteligente-monroe-para-la-nueva-serie-3-de-bmw-53465.php>. [Últim accés: 4 Gener 2018].
- [43] E. Méndez i G. Bismans, «Intelligent suspensions,» *Vehicle Dynamics International*, pp. 36-37, 2016.

- [44] K. Read i J. Miles, «Active for life?», *Vehicle Dynamics International*, pp. 48-50, 2012.
- [45] A. Mulla i D. Unune, «ResearchGate», Març 2013. [En línia]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/259272175>. [Últim accés: 3 Gener 2018].
- [46] Wikipedia, «Wikipedia», MediaWiki, 26 Juny 2017. [En línia]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Active_Body_Control. [Últim accés: 5 Gener 2018].
- [47] T. Lewin, «Touch of magic», *Vehicle Dynamics International*, pp. 4-5, 2014.
- [48] J. Salmerón, «Blog mecanicos», 2 Octubre 2014. [En línia]. Available: <http://www.blogmecanicos.com/2014/10/como-funciona-el-airmatic-de-mercedes.html>. [Últim accés: 5 Gener 2018].
- [49] Volkswagen, *The Phaeton Air Suspension with Controlled Damping*, 2002.
- [50] Vehicle Dynamics International, «Volkswagen Passat», *Vehicle Dynamics International*, pp. 8-9, 2015.
- [51] Vehicle Dynamics International, «Polestar1», *Vehicle Dynamics International*, p. 8, 2018.
- [52] J. Mccraw, «Skin Deep», *Electric & hybrid vehicle technology international*, pp. 54-60, Gener 2013.
- [53] Electromovilidad, «Electromovilidad», 23 Octubre 2017. [En línia]. Available: <http://electromovilidad.net/el-tesla-model-3-tendra-suspension-inteligente-de-aire/>. [Últim accés: 20 Gener 2018].
- [54] P. Zandbergen, W. David i E. Knoy, «CD changer», *Vehicle dynamics international*, pp. 18-23, 2013.
- [55] Vehicle Dynamics International, «Focused attention», *Vehicle Dynamics International*, p. 9, 2015.
- [56] BWI group, *Vehicle Dynamics International*, 2013, p. 29.
- [57] J. M. Pichardo, «km77», Ruedas de prensa SL, 10 Maig 2002. [En línia]. Available: <https://www.km77.com/tecnica/bastidor/magneride/texto.asp>. [Últim accés: 11 Gener 2018].
- [58] Wikipedia, «Wikipedia», MediaWiki, 2 Gener 2018. [En línia]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/MagneRide>. [Últim accés: 11 Gener 2018].
- [59] A. Kwiatwoska, «Advanced ride control», *Vehicle Dynamics International*, p. 55, 2014.
- [60] Y. Siramdasu i S. Taheri, «Semi-active suspenison», *Vehicle Dynamics International*, pp. 28-34, 2016.
- [61] J. O'brien, «There's an app for that», *Vehicle Dynamics International*, pp. 26-30, 2014.

- [62] R. Bielak, «Two minutes with...», *Vehicle Dynamics International*, p. 8, 2017.
- [63] Vehicle Dynamics International, «CFRP dampers», *Vehicle Dynamics International*, pp. 54-55, 2015.
- [64] Vehicle Dynamics International, «Vehicle Dynamics International», Uki Media Events, 2017. [En línia]. Available: <http://www.vehicledynamicsinternational.com/news.php?NewsID=86141>. [Últim accés: 13 Gener 2018].
- [65] Vehicle Dynamics International, «Discovery Sport», *Vehicle Dynamics International*, p. 10, 2015.
- [66] P. Monchiero, «Material world», *Vehicle Dynamics International*, p. 46, 2013.
- [67] J. O'brien, «Lightest touch», *Vehicle Dynamics International*, pp. 26-30, 2015.
- [68] D. Meganeboy, «Aficionados a la mecanica», 2014. [En línia]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>. [Últim accés: 5 Febrer 2018].
- [69] S. Charif i S. Ferreruela, *suspension138sofiansergio*, 2013.
- [70] Mercado libre, *Mercado libre*, 2018.
- [71] M. Fernie, «CarThrottle», 2016. [En línia]. Available: <https://www.carthrottle.com/post/leaf-springs-advantages-and-disadvantages/>. [Últim accés: 25 Gener 2018].
- [72] B. M. Notario, «Noticias coches», 14 Desembre 2014. [En línia]. Available: <https://noticias coches.com/consejos/tipos-de-suspensiones-ventajas-y-desventajas/154515>. [Últim accés: 25 Gener 2018].
- [73] T. Virtual, «Actualidad Motor», 23 Agost 2013. [En línia]. Available: <https://www.actualidadmotor.com/la-suspension-hidroneumatica-parte-i/>. [Últim accés: 31 Gener 2018].
- [74] P. H. Mañas, *Foto telèfon mòbil*, Terrassa, 2018.
- [75] L. Reyes, «Autonocion», 18 Octubre 2013. [En línia]. Available: <https://www.autonocion.com/los-odiados-reductores-de-velocidad-siguen-sin-cumplir-la-normativa/>. [Últim accés: 1 Març 2018].
- [76] Preitv, «Preitv.com», Decembre 2013. [En línia]. Available: <http://www.preitv.com.es/defectos-itv/suspension/>. [Últim accés: 1 Març 2018].
- [77] Admin, *Distancia de frenado*, 2013.
- [78] Bilstein, «Bilstein», 5 Agost 2017. [En línia]. Available: <https://www.bilstein.com/en/about-us/history-of-bilstein/>. [Últim accés: 14 Febrer 2018].

- [79] J. S. Lamarta, «Rodiauto Sport,» 2017 Decembre 26. [En línia]. Available: <http://www.rodiautosport.net/web/amortiguadores-bilstein/>. [Últim accés: 14 Febrer 2018].
- [80] Eibach, «Eibach,» Web Shop Manager, 6 Maig 2017. [En línia]. Available: <https://eibach.com/us/p-13-about-us.html>. [Últim accés: 14 Febrer 2018].
- [81] Gabriel, «Gabriel the original,» Ride Control LLC, [En línia]. Available: <http://gabriel.com/our-company/history/>. [Últim accés: 14 Febrer 2018].
- [82] B. Beardow, «Swedespeed,» 16 Febrer 2004. [En línia]. Available: http://www.swedespeed.com/news/publish/Features/printer_170.html. [Últim accés: 14 Febrer 2018].
- [83] Redaccion Auto Bild, *AutoBild*, 2013.
- [84] KW, «KW History,» 2015. [En línia]. Available: http://www.kwsuspensions.com/company/history#block_3. [Últim accés: 16 febrer 2018].
- [85] MONROE, «MONROE,» 2017. [En línia]. Available: <http://www.monroe.com/en-emea/about/history>. [Últim accés: 16 Febrer 2018].
- [86] ohlins, «Ohlins,» 2015. [En línia]. Available: <https://www.ohlins.com/about/history/>. [Últim accés: 16 Febrer 2018].
- [87] SACHS, «SACHS,» 10 Octubre 2017. [En línia]. Available: https://www.zf.com/spainportugal/es_es/sachs/about_us_sachs/brand_sachs/brand_sachs_1.html. [Últim accés: 16 Febrer 2018].
- [88] C.-I. Ruiz Pérez, «Bancos de ensayos (diagramadoras),» de *Caracterización dinámica del comportamiento de un amortiguador en banco de ensayos*, Madrid, repositorio institucional Universidad Carlos III, 2009, pp. 42-47.
- [89] Ryme, «Maquinaria de Automoción e Inspección de Vehículos,» 30 Juliol 2015. [En línia]. Available: http://www.ryme.com/bancos_de_suspensiones_BSUNET.html. [Últim accés: 17 Febrer 2018].
- [90] NTN-SNR, «SUSPENSIÓN SECURITY INSIDE,» 6 Juny 2016. [En línia]. Available: www.ntn-snr.com. [Últim accés: 17 Febrer 2018].
- [91] «APPLUS IDIADA,» [En línia]. Available: http://www.applusidiada.com/es/service/Circuito_de_pruebas-1340212767372?selectedtrack=4. [Últim accés: 7 Març 2018].
- [92] MSCsoftware, «Real Dynamics for Vehicle Design & Testing,» *Vehicle Dynamics International*, p. 42, 2015.

- [93] Wikipedia, «Wikipedia,» MediaWiki, 8 Novembre 2017. [En línia]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Inspecci%C3%B3n_T%C3%A9cnica_de_Veh%C3%ADculos. [Último acceso: 17 Febrer 2018].
- [94] Beneficios de la ITV, «ITV.com,» Gener 2018. [En línia]. Available: <https://itv.com.es/las-itvs-unidas-bajo-una-misma-ley-en-europa>. [Últim accés: 17 Febrer 2018].
- [95] Gencat, «Gencat.cat,» Generalitat de Catalunya, 2016. [En línia]. Available: <http://www.gencat.cat/itv/xarxa.html>. [Últim accés: 17 Febrer 2018].
- [96] Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, «Manual de procedimiento de inspección de las estaciones I.T.V.,» vol. 7.2.2, pp. 166-167, 2018.
- [97] «Tarifasgasluz by Selecta,» Febrer 2018. [En línia]. Available: <https://tarifasgasluz.com/faq/tarifas-luz-febrero-2018#mejores-tarifas-luz-febrero-2018>. [Últim accés: 15 Març 2018].
- [98] «Zeperfs,» DISQUS, 12 Abril 2016. [En línia]. Available: <http://www.zeperfs.com/es/fiche3353-bmw-320-td-bv6.htm>. [Últim accés: 15 Març 2018].
- [99] «World Nuclear Association,» 2011. [En línia]. Available: <http://www.world-nuclear.org/nuclear-basics/greenhouse-gas-emissions-avoided.aspx>. [Últim accés: 15 Març 2018].
- [100] «Carbon independent,» 30 Novembre 2015. [En línia]. Available: <http://www.carbonindependent.org/>. [Últim accés: 15 Març 2018].
- [101] Generalitat de Catalunya, «Institut Català d'Energia,» 2016. [En línia]. Available: http://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc_energia/. [Últim accés: 15 Març 2018].